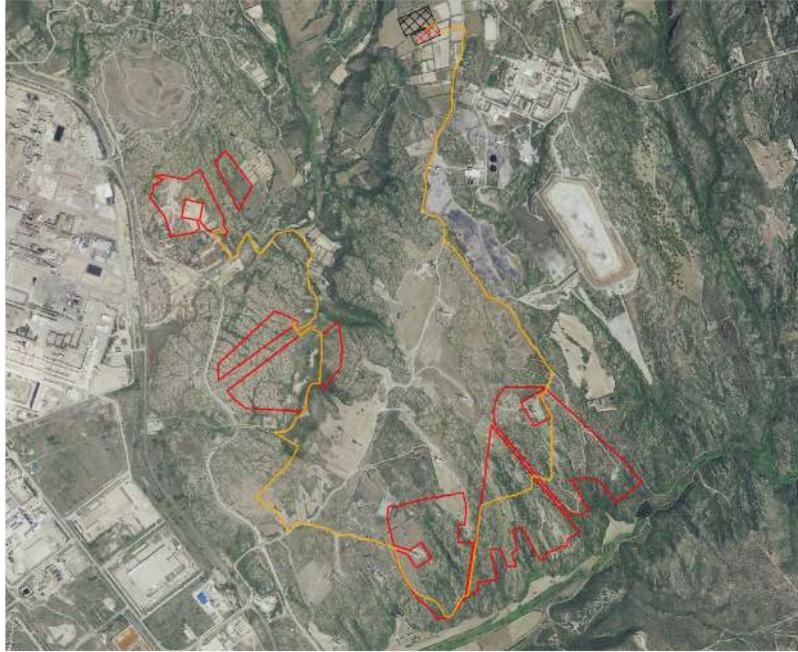




COMUNE DI PORTOSCUSO

Provincia del Sud Sardegna



allegato

I.2

PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA
Potenza Nominale 111,2 MWp - Potenza in immissione 110 MW
-progetto definitivo-

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

scala

data: *Giugno 2023*

rev00

collaboratori:

ing. Carmine Falconi
ing. Cristian Cannaos
ing. Giuseppe Onni
ing. Valerio Parducci
ing. Enzo Battaglia
dr geolog. Marcello Miscali
dr agr. Francesco Casu
dr archeol. Pietro Francesco Serreli

committente



MYT SARDINIA 2 S.r.l.
Piazza Fontana, 6
20122 Milano (MI)

progettisti

ing. Giovanni A. Saraceno

dr agr. Francesco Saverio Mameli

arch. Giovanni Soru

consulenze:

geom. Paolo Nieddu

ATP: studio LAAB srl - arch. G.Soru - c.so V. Veneto, 61 - Bitti (NU) tel: 0784414406 3288287712- e-mail: drfran13@gmail.com archsoru@gmail.com

3E INGEGNERIA srl - via Gioacchino Volpe, 92 - 56121 Ospedaletto (PI) tel: 050 44428 - e-mail: info@3eingegneria.it

***PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA E
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
NEL COMUNE DI PORTOSCUSO (SUD SARDEGNA)***

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

INDICE GENERALE

INDICE GENERALE	3
PREMESSA	4
DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO.....	4
ARTICOLAZIONE DEL LAVORO DI STUDIO E DI INDAGINE.....	6
INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
STATO ATTUALE DEI LUOGHI	9
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
SEZIONE GEOLOGICA TIPO	17
INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	18
CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	20

PREMESSA

Su incarico della società MYT SARDINIA 2 S.R.L. è stato portato avanti uno studio geologico, geomorfologico, idrogeologico di dettaglio e geotecnico di massima al fine di verificare lo stato dei luoghi e le caratteristiche generali di assetto geologico e geomorfologico della porzione di territorio interessata dall'intervento, e raccogliere i primi dati sulle caratteristiche geologico tecniche dei sedimenti e delle rocce di imposta delle strutture in progetto.

DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO

Il progetto oggetto del presente studio prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra della potenza di circa 109,83 MWp e relative opere di connessione alla RTN. L'impianto fotovoltaico è suddiviso in tre macro aree (area A, B e C). Nello specifico è prevista la messa in opera di 163.920 moduli in silicio monocristallino, ad alta efficienza, ciascuno con una potenza complessiva di 670 Wp, montati su strutture di supporto di tipo fisso per un'altezza max da terra di 2,50 m. Le strutture di sostegno dei moduli saranno costituite da un profilato in acciaio zincato a caldo infisso nel terreno disponibile in 6 lunghezze standard e del diametro di circa 17cm, collegate al suolo tramite pali infissi direttamente nel terreno tramite la realizzazione di fori trivellati (in corrispondenza delle litologie ignimbriche) o tramite macchina battipalo quando gli spessori delle litologie sciolte lo permetteranno, per una profondità variabile tra 1,3 e 1,5 m, (in funzione della consistenza delle litologie di fondazione da valutare a seguito di adeguata campagna di indagini geognostiche).

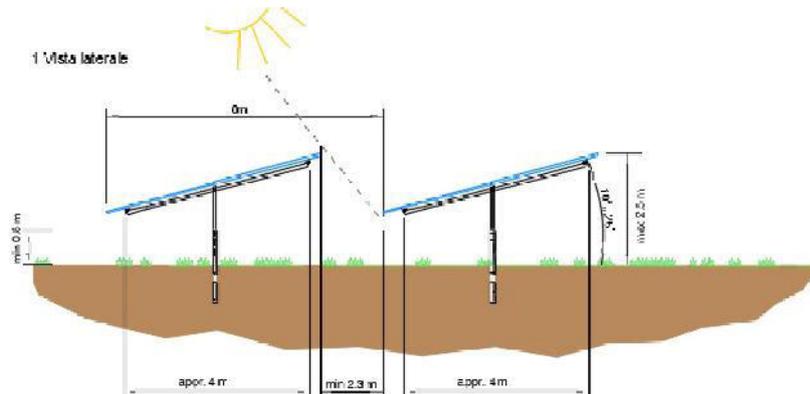


Figura 1 - Rappresentazione della struttura di supporto - tipo Fisso

Il progetto dell'impianto nel suo complesso prevede:

- la messa in opera nei tre diversi settori di 20 cabine di campo (n°3 nell'Area A, n°5 nell'Area B e 12 nell'Area C), all'interno delle quali sono posizionati i quadri del trasformatore e delle apparecchiature di telecontrollo, di consegna e misura. Si tratta di cabine prefabbricate in c.a.v. (cemento armato vibrato) monoblocco con dimensioni pari a 13 x 3,40 (lung. x larg.) e altezza inferiore a 3 m. Le fondazioni saranno costituite da una vasca prefabbricata in c.a.v. di altezza 50 cm per la raccolta di eventuali perdite di olio dai trasformatori, predisposte di forature a frattura prestabilita per passaggio cavi MT/BT. Sul fondo dello scavo verrà realizzato uno strato di "magrone" per garantire la stabilità della cabina stessa. In alternativa potranno essere realizzate in materiale metallico, tipo container; le pareti esterne del prefabbricato verranno colorate in tinta adeguata, per un miglior inserimento ambientale, mentre le porte d'accesso e le finestre di aerazione saranno in lamiera zincata verniciata;

- la messa in opera di cabine di impianto con funzione di raccoglie tutti i cavi provenienti dalle cabine di campo della relativa area e da qui parte il collegamento verso la stazione elettrica di utenza 33/220 kV. Si tratta di cabine prefabbricate in c.a.v. (cemento armato vibrato) monoblocco con dimensioni pari a 5 x 2,50 (lung. x larg.) e altezza inferiore a 3 m. Le fondazioni saranno costituite anche in questo caso da una vasca prefabbricata in c.a.v. di altezza 57 cm per la raccolta di eventuali perdite di olio dai trasformatori, predisposte di forature a frattura prestabilita per passaggio cavi MT/BT; sul fondo dello scavo verrà realizzato uno strato di "magrone" per garantire la stabilità della cabina stessa;

- la messa in opera di un impianto antintrusione e videosorveglianza comprendente telecamere TVCC, cavo alfa (in grado di rilevare le vibrazioni trasmesse alla recinzione esterna) e barriere a microonde;

- la messa in opera di un impianto d'illuminazione esterno;

- la messa in opera di una recinzione costituita da elementi modulari rigidi in tondini di acciaio elettrosaldati di diverso diametro per un'altezza complessiva di circa 200 cm con pali di sezione 60x60 mm disposti ad interassi regolari di circa 1 m, la recinzione sarà mitigata con delle siepi di idonea altezza costituite da essenze arboree-arbustive autoctone; mentre l'accesso alle aree sarà garantito da cancello metallico per gli automezzi della larghezza di cinque metri e dell'altezza di due e uno pedonale della stessa altezza e della larghezza di un metro e mezzo;

- la realizzazione di apposita viabilità interna per una larghezza intorno ai 4 metri con degli slarghi in corrispondenza delle cabine per permettere le manovre dei mezzi utilizzati per la posa delle cabine stesse, sarà realizzata in materiale drenante in modo da consentire il facile ripristino geomorfologico a fine vita dell'impianto semplicemente mediante la rimozione del pacchetto stradale e il successivo riempimento con terreno vegetale; inoltre lungo tutto il perimetro interno della recinzione è prevista la realizzazione di uno scavo di 30 cm con successivo riempimento con stabilizzato e breccia per permettere il passaggio di piccoli mezzi (furgoncini) per gli interventi di manutenzione ordinaria;

- non si prevede la realizzazione di nuova viabilità esterna essendo l'area già servita da infrastrutture viarie, si prevede l'adeguamento di alcune delle strade adiacenti all'impianto al fine di consentire il transito di mezzi idonei ad effettuare sia il montaggio che la manutenzione dell'impianto.

L'energia prodotta dall'impianto verrà trasferita alla stazione elettrica di utenza, ubicata in adiacenza alla futura Stazione di Rete (di proprietà di TERNA) in territorio di Gonnese indicata per il collegamento alla RTN. Da ciascuna delle cabine di impianto delle tre aree partirà un cavo interrato a 33 kV che collegherà queste ultime alla stazione di utenza. Da qui avrà origine l'elettrodotto in cavo interrato a 220kV per il collegamento in antenna dell'intero impianto alla sezione a 220 kV della futura stazione elettrica Terna, da inserire in entra – esce alla linea 220 kV "Sulcis - Oristano".

L'elettrodotto di collegamento tra il campo fotovoltaico con la stazione di utenza avrà una lunghezza complessiva di circa 8,6 km, si svilupperà in parte sul territorio del comune di Portoscuso e in parte in quello di Gonnese. Sarà realizzato in cavo interrato con tensione nominale di 33 kV. In particolare, partendo dalla cabina d'impianto del sottocampo più a Ovest dell'impianto, denominato Area A, il tracciato corre in direzione Sud verso la parte d'impianto denominata Area B, proseguendo in direzione Sud verso l'area denominata Area C e poi verso Nord alla stazione di Utenza. La linea sarà realizzata interamente in cavo interrato posata all'interno di una trincea della profondità massima di 1,6 m, e con una profondità minima di posa dei tubi tale da garantire almeno 1 m, misurato dall'estradosso superiore del tubo, in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale. Tutti i cavi saranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata. La restante parte della trincea sarà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto. In alcuni casi particolari e comunque dove si renderà necessario, in particolare in corrispondenza di attraversamenti di corsi d'acqua, si dovrà procedere

in subalveo ad un profondità tale da garantire un franco di almeno un metro tra i cavidotti e la base dell'alveo. **Per le modalità di messa in opera in corrispondenza degli attraversamenti dei corsi d'acqua si rimanda alla relazione tecnica di progetto.**

Il progetto prevede inoltre la realizzazione di una stazione MT/AT di Utenza (in comune di Gonnese) avrà dimensioni di 150,80m per 64,60m e una superficie di circa 9.800 m². All'interno della stazione di utenza è prevista la realizzazione di tre fabbricati costituiti ciascuno da un edificio quadri comando e controllo, un locale uso ufficio, una sala server, un locale per i quadri BT, un locale quadri MT, un locale gruppo elettrogeno, un locale Trasformatore TSA ed un locale misure. Oltre a ciò sono presenti i servizi igienici ed un locale a disposizione. Essi saranno realizzati in muratura e saranno a pianta rettangolare di dimensioni esterne 29,5 x 6,7 m circa, con altezza fuori terra di circa 3,6 m.

Le strade interne all'area della stazione saranno asfaltate e con una larghezza non inferiore a 4 m, le piazzole per l'installazione delle apparecchiature saranno ricoperte con adeguato strato di ghiaione stabilizzato; tali finiture superficiali contribuiranno a ridurre i valori di tensione di contatto e di passo effettive in caso di guasto a terra sul sistema AT. Il collegamento dell'impianto alla viabilità ordinaria sarà garantito a partire dalla strada comunale Sandro Pertini, da adeguare, e da un tratto di nuova realizzazione.

Sono inoltre previsti:

- cunicoli per cavetteria;
- una recinzione perimetrale;
- cancelli carrabili e pedonali;
- un sistema di illuminazione.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione di progetto e ai relativi elaborati grafici.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si elencano di seguito i principali riferimenti normativi adottati per lo svolgimento dell'incarico e, in particolare, per la redazione del presente documento.

- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione e successive istruzioni; (per Zona sismica 4, Classi I e II);

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 (e successive modifiche ed integrazioni) primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica;

- Delibera Giunta Regione Sardegna 15/31 30 marzo 2004 - "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274";

- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Pericolosità Sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;

- Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

I riferimenti di cui sopra possono non essere esaustivi. Ulteriori disposizioni di legge, norme e deliberazioni in materia, anche se non espressamente richiamati, si considerano applicabili.

ARTICOLAZIONE DEL LAVORO DI STUDIO E DI INDAGINE

Per acquisire gli elementi d'interesse conoscitivo ai fini della presente relazione sono state eseguite una serie di attività che hanno visto in primo luogo una ricognizione bibliografica comprendente l'acquisizione di materiale sia descrittivo sia cartografico, inerente le caratteristiche geologiche e

geomorfologiche sia dell'area in esame sia del suo intorno, seguita dall'acquisizione dei dati di terreno di carattere geologico e geomorfologico con conseguente individuazione di zone omogenee per caratteri litologici e morfoevolutivi.

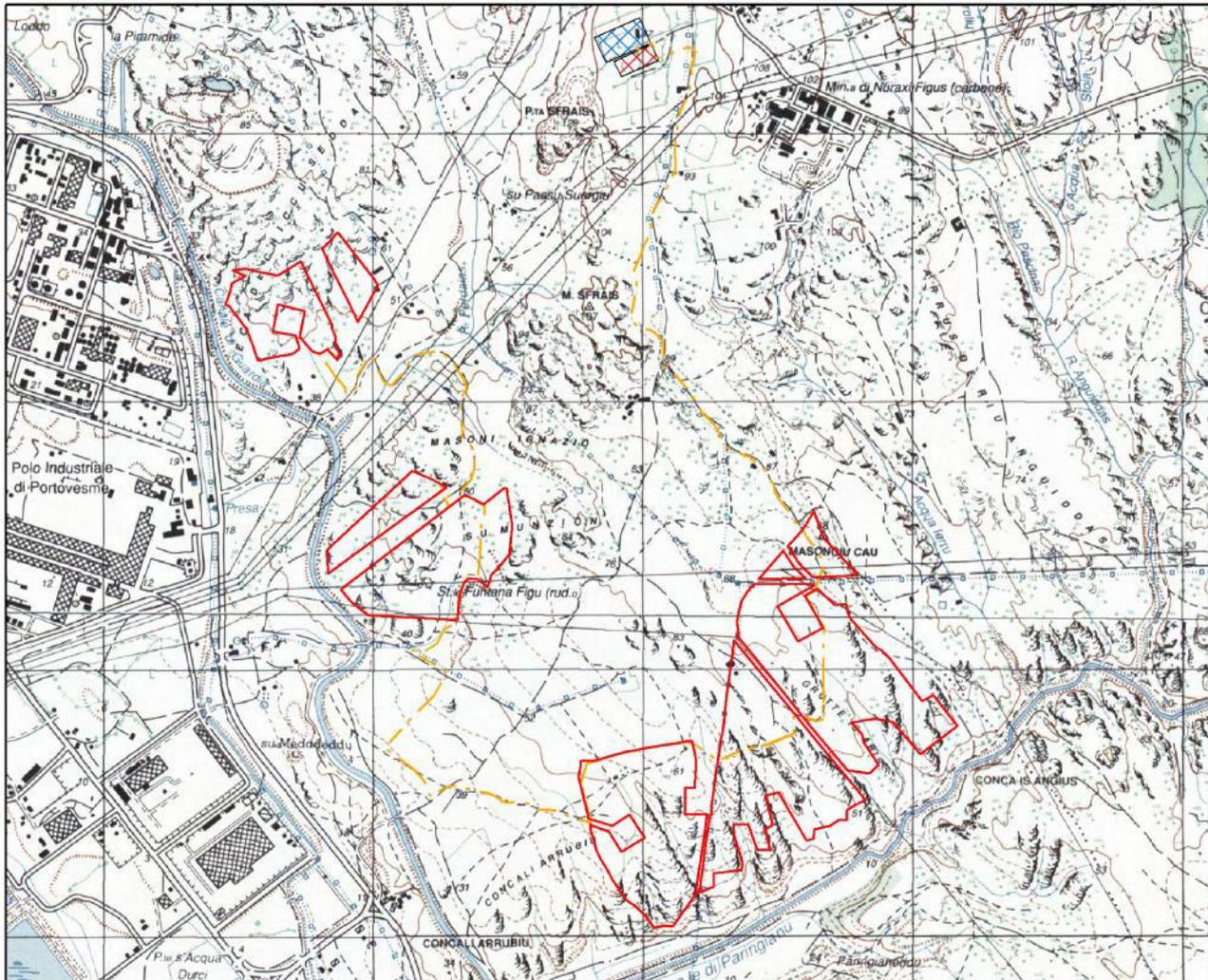


Figura 2 - Inquadramento geografico (IGMI) con localizzazione delle aree d'intervento.

Le indagini geologiche si sono estese fino a comprendere:

- un ambito regionale per quanto riguarda gli aspetti geologici e tettonici di area vasta;
- un intorno chilometrico per quanto riguarda l'inquadramento territoriale, geologico, geomorfologico ed idrogeologico di dettaglio;
- un intorno ettometrico per quel che riguarda gli aspetti litologici di dettaglio;
- un volume significativo per la stratigrafia e la classificazione dei terreni.

Durante l'intera attività di rilevamento si è anche provveduto alla raccolta di un'ampia e completa documentazione fotografica. ***I dati così ottenuti sono stati utilizzati per la caratterizzazione geomorfologica, litostratigrafica, geologica ed idrogeologica di dettaglio dell'area di indagine e del suo intorno, allo stesso tempo sulla base della tipologia delle opere da realizzare è stato possibile raccogliere informazioni utili per la programmazione delle future campagne geognostiche, necessarie ed indispensabili per la caratterizzazione geotecnica di dettaglio delle litologie di imposta delle fondazioni, da effettuarsi durante la fase di stesura del progetto esecutivo e/o nella fase di realizzazione dell'opera.***

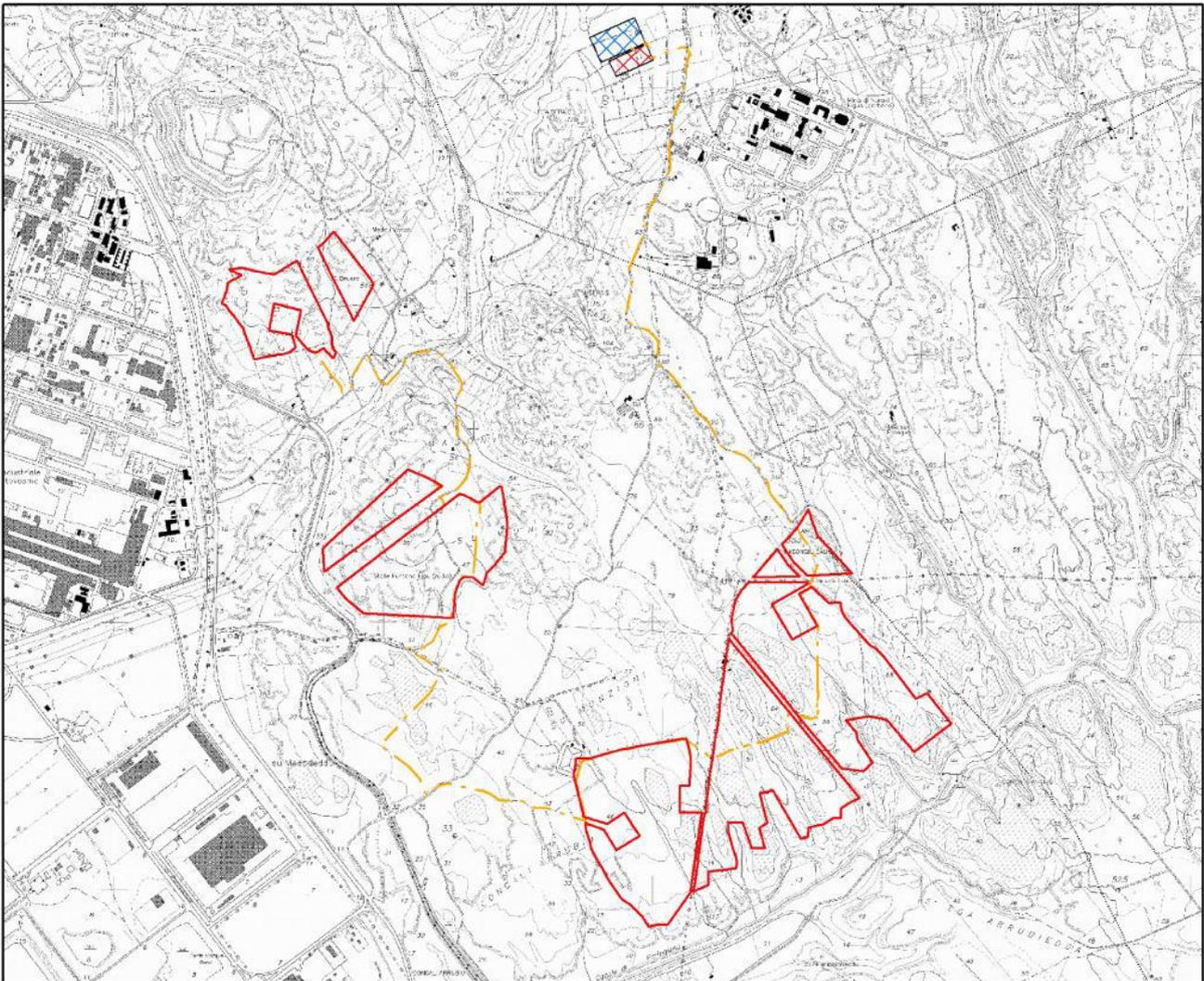


Figura 3 - Inquadramento geografico (CTR) con localizzazione delle aree d'intervento.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è localizzata nel settore Sud-Occidentale della Sardegna nella regione del Sulcis, subito ad est e sud-est del centro abitato di Portoscuso (impianto fotovoltaico) ad una distanza di oltre due chilometri e ad ovest del piccolo borgo di Nuraxi Figus (Stazione di Utenza).

Dal punto di vista geografico l'area d'intervento ricade in parte (settore nord) nel Foglio n° 555, sezione III, denominata "PORTOSCUSO" e in parte (settore sud) nel Foglio n° 564, sezione IV denominata "CALASETTA" della Carta d'Italia dell'IGMI in scala 1:25.000, e nel Foglio n° 555 sezione 130 denominata "PORTOSCUSO", nel Foglio n° 555 sezione 140 denominata "CORTOGHIANA" e nel Foglio n° 564 sezione 020 denominata "PARINGIANU" della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 redatta dalla Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato degli Enti Locali Finanze ed Urbanistica, Territoriale e della Vigilanza Edilizia.

Più precisamente l'impianto fotovoltaico si estende sulle seguenti località "Ecca de Chiccu Sedda", "Masoni Ignazio", "Su Munzioni", "Concali Arrubiu" e "Grutte is Abis", censite al catasto del comune di Portoscuso ai Fogli n. 5, 6, 7, 9 e 10 interessando mappali vari, per maggiori dettagli si rimanda alla cartografia e agli elaborati di progetto. Mentre le opere di connessione si svilupperanno su Fogli 5, 6, 7, 9, 10 nel Comune di Portoscuso e nei Fogli 13 e 14 nel Comune di Gonnese interessando mappali vari; per finire la stazione di Utenza è localizzata in territorio di Gonnese subito ad ovest del Borgo di Nuraxi Figus in

prossimità di P.ta Sfrais censita al catasto del Comune di Gonnese al Foglio 13, Mappali 965, 966, 1.906, 1.907, 1.908 e 1.909. L'area in cui è localizzato l'impianto è inquadrata nel P.U.C. vigente del Comune di Portoscuso (deliberazione consiliare n.42 del 19 luglio 1999) come zone E ed H mentre l'area che sarà adibita alla futura stazione di Utenza è inquadrata nel P.U.C. vigente del Comune di Gonnese (5 dicembre 2016) come zona E, sottozona E3.

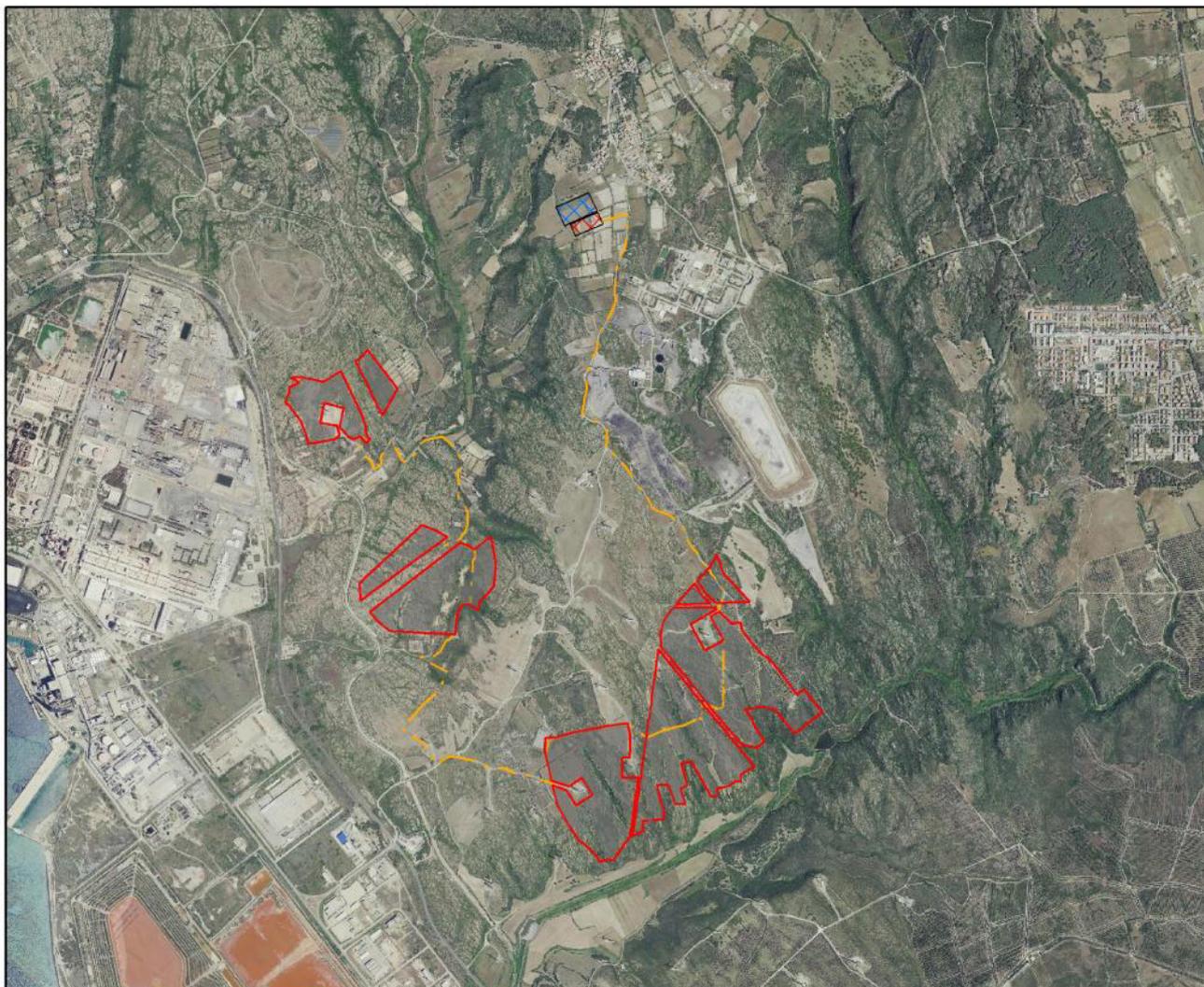


Figura 4 - Inquadramento su base ortofoto, con localizzazione delle aree d'intervento.

STATO ATTUALE DEI LUOGHI

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra all'interno di un lotto inserito all'interno del SIN dell'Iglesiente, l'area è posta ad una distanza di oltre due chilometri dal centro abitato di Portoscuso e subito a ridosso della Zona industriale di Portovesme. L'area oggetto d'intervento è delimitata ad ovest dalla strada provinciale n.2 che la separa dal polo industriale di Portovesme, ad est dal Rio Acqua Ierru e a sud dal Canale di Paringianu. Nel complesso l'area d'intervento risulta poco urbanizzata, le uniche opere edilizie esistenti sono date alla presenza di una serie di infrastrutture a rete tra cui cinque linee dell'alta tensione, due linee di media tensione, alcune linee elettriche rurali. Sono inoltre presenti tre condotte idriche, un canale di guardia con andamento nord-ovest – sud-est a protezione della zona industriale. L'intera area è inoltre tra quelle individuate come idonee all'installazione di impianti eolici, ne consegue che sia all'interno dell'area di intervento che nelle sue immediate vicinanze sono presenti una

serie di campi eolici con una trentina di aerogeneratori già realizzati e altri due da realizzare. Nel settore posto subito ad ovest è presente il polo industriale di Portovesme caratterizzato da industrie di varia natura sia in funzione che in disuso compresa la centrale elettrica. Nel settore nord è presente l'ex-discarica "Sa Piramide" della Società Portovesme S.r.l e una vecchia cava di pietra in località "Su Pranu de is Piccinus", mentre una seconda ex-cava denominata "Sa Spinarba" (codice 337_I) è presente all'interno dell'area di intervento in località "Funtana Figu", proseguendo verso nord-est è presente la miniera di carbone di Nuraxi Figus. Sono inoltre presenti delle infrastrutture e dei fabbricati riconducibili all'attività agricola, edifici rurali, stalle depositi attrezzi e serre. Il resto dell'area ha caratteristiche da naturali a seminaturali con un utilizzo attuale del suolo da pascolo naturale a pascolo migliorato e foraggere, rari frutteti e vigneti.



Foto 1 - Panoramica del settore a morfologia pianeggiante nei pressi del polo industriale di Portovesme.



Foto 2 – Particolare del settore a morfologia collinare con sullo sfondo l'ex-discarica "Sa Piramide" della Società Portovesme S.r.l.

Allo stesso tempo l'intera area che sarà interessata dalla messa in opera dell'impianto fotovoltaico in progetto ricade all'interno del Sito d'Interesse Nazionale del Sulcis-Iglesiente-Guspinese. Entrando nel dettaglio, come si evince dal documento pubblicato sul sito ufficiale del Ministero della Transizione Ecologica, Direzione Generale Uso Sostenibile Suolo e Risorse Idriche (bonifichesiticontaminati.mite.gov.it/sin-34) "le aree industriali dedicate alla metallurgia del Piombo, dello Zinco e dell'Alluminio, in particolare l'area di Portovesme, sono caratterizzate dalla presenza prevalente di contaminanti metallici sino a concentrazioni dell'ordine delle unità percentuali nei riporti utilizzati per la realizzazione dei piazzali industriali, con la conseguente contaminazione dei suoli e delle acque sotterranee. E' altresì presente una contaminazione da IPA, fluoruri, idrocarburi e in minor misura, da composti organici clorurati. I top soil esterni a queste aree industriali risultano contaminati quasi esclusivamente da metalli pesanti, secondo un modello concettuale che vede la ricaduta atmosferica e la dispersione eolica a partire da abbancamenti di materie prime e rifiuti industriali che costituiscono la principale fonte di contaminazione. Ne consegue che non solo le aree direttamente interessate dalle attività industriali di Portovesme ma anche quelle ad esso esterne, compresa quella oggetto dell'intervento in progetto, sono interessate dalla presenza di contaminanti di varia natura e tipologia. Il tutto è stato evidenziato nel 2009 dalla campagna portata avanti dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna ARPAS per la determinazione del tenore di fondo, e successivamente confermato durante la fase di caratterizzazione delle aree esterne al polo industriale di Portovesme. Queste attività di caratterizzazione hanno evidenziato per l'area esterna al settore Industriale di Portovesme, compreso il settore di intervento, valori anomali nei suoli per metalli pesanti quali Antimonio, Arsenico, Cadmio, Cobalto, Mercurio, Piombo, Rame, Stagno e Zinco, e nelle acque per Manganese e Solfati. Dal punto di vista logistico la zona oggetto d'intervento è raggiungibile sia dal

settore sud sia da quello nord attraverso la Strada Provinciale n. 2 che collega Portoscuso con Carbonia dalla quale si dipartono una serie di strade rurali di penetrazione agraria e di piste che permettono l'accesso alle aree di intervento.



Foto 3 – Particolare del settore lagunare di Boi Cerbus.



Foto 4 – Vista panoramica del settore pianeggiante del Canale di Paringianu.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'attuale assetto geomorfologico dell'area è il prodotto dell'evoluzione geologica del territorio a partire dal Cenozoico per arrivare al Quaternario antico e in parte alle recenti trasformazioni del territorio effettuate dall'uomo nel secolo scorso comprendenti la sistemazione idraulica dell'area subito a monte dell'aera industriale di Portovesme che ha visto la realizzazione del Canale di Guardia a protezione dell'area industriale, la sistemazione idraulica del tratto terminale del Canale di Paringianu, la risistemazione della vasta area industriale, dell'area portuale, delle grandi aree di discarica (ex-discarica "Sa Piramide" della Società Portovesme S.r.l) e dei bacini di sedimentazione dei fanghi industriali, oltre alle trasformazioni del territorio da ricollegare all'intensa attività estrattive di cava e di miniera.



Foto 5 – Particolare della morfologia pianeggiante impostata all'interno dei depositi continentali pleistocenici in loc. Su Munzoni.



Foto 6 – Particolare della morfologia pianeggiante impostata all'interno dei depositi continentali pleistocenici in coincidenza del sito d'imposta della Stazione di Utenza.

L'area d'intervento si estende lungo il settore Sud-Occidentale della Sardegna nella regione denominata Sulcis, delimitata nel settore settentrionale ed occidentale dal mare, in quello meridionale dal Canale di Paringianu e in quello orientale dalla presenza di una serie di rilievi collinari impostati su litologie

effusive di età terziaria disposti secondo un allineamento nord-ovest – sud-est. Si tratta di un'area a morfologia variabile da sub-pianeggiante nel settore occidentale a collinare in quello orientale, caratterizzata da un assetto geomorfologico con rilievi e valli a basso gradiente topografico, con andamento altimetrico degradante verso il mare con direzione est-ovest.

Entrando nel dettaglio del settore d'intervento questo è in parte impostato sul complesso ignimbrico oligo-miocenico in parte sui depositi continentali del Pleistocene che ricoprono il complesso ignimbrico, ne consegue che il settore presenta due differenti tipologie morfologiche una più aspra ed accidentata e una molto più morbida e regolare, inoltre il settore è solo marginalmente antropizzato e mantiene ancora i suoi caratteri morfologici originari. L'area d'intervento è delimitata a nord dall'ex discarica "Sa Piramide" della Società Portovesme S.r.l, ad est dall'allineamento dei piccoli rilievi collinari di Monte Sinni, Punta Frais, Monte Frais, e dal rilievo in località Masongiu Cau, a sud l'area è delimitata dal corso del Canale Paringianu e ad ovest è separata dalla piana costiera attraverso il Canale di Guardia e la strada provinciale n. 2. Il settore vulcanico è stato oggetto nel tempo di agenti del modellamento esogeni (acqua, vento, variazioni termiche) ed endogeni legati alla tettonica; a piccola scala il settore è caratterizzato da una morfologia dolce con basse colline arrotondate mentre a grande scala risulta essere alquanto movimentata, accentuata anche dalla presenza di abbondante roccia affiorante.



Foto 7 – Particolare della morfologia impostata all'interno dei depositi ignimbrici oligo-miocenici.



Foto 8 – Particolare della morfologia accidentata impostata all'interno dei depositi ignimbrici oligo-miocenici.

La tettonica ha, nell'area, smembrato e dislocato il complesso vulcanico dando luogo a rotture di pendio e orli di scarpata che seguono l'andamento delle diaclasi presenti in queste litologie accentuandone i processi erosivi e favorendo l'instaurarsi di piccole vallecole di erosione incise nella roccia, con direzioni di messa in posto nord-ovest – sud-est che ne rendono aspra la morfologia a grande scala.

Nel complesso l'area risulta leggermente inclinata verso sud-ovest, verso la linea di costa e verso l'alveo del canale di Paringianu. Le quote variano dai 128 metri sul livello del mare di Punta Frais in prossimità della miniera di Nuraxi Figus sino ad arrivare al livello del mare in coincidenza della linea di costa a ovest e sud-ovest. Le pendenze sono comprese tra il 2 e in 5% in corrispondenza dei depositi continentali, e tra il 10 e il 20% sulle litologie ignimbriche con punte che superano facilmente il 40 - 60% in corrispondenza dell'alveo sia dei corsi d'acqua principali come il Canale di Paringianu, sia dei piccoli affluenti che mostrano spesso un alveo incassato. Mentre a grande scala gli affioramenti rocciosi che caratterizzano il settore impostato sulle litologie ignimbriche mostrano superfici più o meno tabulari delimitate da margini verticali che possono superare il metro di altezza. Un ulteriore fattore morfologico è connesso all'azione erosiva del

vento che nell'area d'intervento ha dato luogo a tafoni e strutture alveolari con dimensioni variabili da pochi centimetri ad alcuni metri.



Foto 9 - Particolare di tafoni all'interno delle rocce ignimbriche.



Foto 10 - Particolare di fessurazione e alveolature all'interno delle rocce ignimbriche.

Nel settore meridionale l'elemento morfologico caratterizzante è dato dalla presenza del Canale di Paringianu che separa l'area d'intervento a morfologia collinare dalla piana costiera posta più a sud, lo stesso corso d'acqua ha subito negli anni la rettifica del proprio corso verso sud e la sua canalizzazione.



Foto 11 - Affioramento delle ignimbriti dell'Unità di Monte Crobu in loc. Monte Sinni.



Foto 12 - Particolare delle ignimbriti dell'Unità di Monte Crobu in prossimità del centro abitato di Nuraxi Figus.

Nell'area d'intervento il corso d'acqua scorre praticamente all'interno di una valle incassata nelle litologie ignimbriche di età oligo-miocanica, delimitata dal resto dell'area da versanti fortemente acclivi che in alcuni casi danno luogo a vere e proprie scarpate verticali. All'interno della valle si è formata una piccola piana alluvionale con larghezze variabili da un minimo di 90/100 metri ad oltre 300 metri e pendenze quasi sempre al di sotto del 5%.

Dal rilevamento dello stato dei luoghi non si evincono particolari fenomeni di dissesto né in atto né potenziali; le uniche aree morfologicamente attive sono quelle poste a ridosso delle scarpate di alcune delle vallecole dei piccoli corsi d'acqua dove, in coincidenza di incisioni più profonde e ad andamento da verticale a sub verticale e a causa dell'intenso sistema di fessurazione e fratturazione che caratterizza l'ammasso roccioso, si possono verificare fenomeni di crollo per distacco di grossi massi dalla parete

rocciosa. Sempre all'interno del settore impostato sulle litologie ignimbriche non è raro incontrare massi in equilibrio precario anche di grosse dimensioni. Il resto dell'area, visto l'assetto litologico e l'andamento morfologico locale, da poco inclinato a sub-pianeggiante, mostra caratteri di relativa stabilità e non esistono, allo stato attuale, i presupposti per l'innescò di spinte gravitative e/o tangenziali, purché vengano mantenute le attuali condizioni geomorfologiche al contorno.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nell'ambito del presente lavoro è stata portata avanti un'attività di rilevamento di campagna attraverso la quale è stato possibile ricostruire l'assetto stratigrafico dell'area sulla quale verrà realizzata l'opera in progetto, ne è scaturito che questa (vedi carta geologica allegata) è impostata in parte sulle litologie ignimbriche della successione vulcanica di età oligo-miocenica, e in parte sui depositi continentali del Sistema di Portovesme (**PVM**), sub sistema di Portoscuso (**PVM2**) di età pleistocenica. Durante questa prima fase di rilevamento, conoscitiva, si è provveduto alla sola analisi dei fronti di scavo e degli affioramenti esistenti nell'area. **Al momento attuale non si è provveduto all'esecuzione di indagini geologiche specifiche che dovranno invece essere eseguite in fase di redazione del progetto esecutivo al fine di arrivare ad un quadro conoscitivo di maggior dettaglio.** Lo studio così effettuato, supportato anche da uno studio bibliografico relativo ad aree limitrofe a quella in studio, ha messo in evidenza la seguente sequenza lito-stratigrafica che dal basso verso l'alto comprende:

- a) *la successione vulcanica oligo-miocenica;*
 - b) *il complesso sedimentario continentale del quaternario.*
- a) **Successione vulcanica oligo-miocenica**

Come è stato ampiamente esposto nel paragrafo relativo all'inquadramento geologico di area vasta nell'area in esame si rinviene una potente coltre di prodotti vulcanici con spessori che si aggirano attorno ai 1.000 metri, il tutto è stato documentato dalla campagna di prospezione portata avanti dalla Carbosulcis S.p.A. nel Bacino Sulcitano in generale e nell'area di intervento in particolare (subito ad est è localizzata la miniera di carbone di Nuraxi Figus). All'interno del Bacino Sulcitano si rinvengono la sequenza lavica basica-intermedia superiore costituita da sequenze di basalti andesitici e andesiti, e la sequenza esplosiva acida-intermedia superiore essenzialmente ignimbrica a composizione variabile da dacitica a riolitica sino a comenditica.



Foto 13 - Particolare delle ignimbriti dell'Unità di Nuraxi.



Foto 14 - Particolare delle fiamme all'interno delle ignimbriti dell'Unità di Nuraxi.

Nel settore d'intervento la successione vulcanica inizia con le "Rioliti dell'Unità di Monte Crobu - **CBU**" depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrica a composizione riolitica di età compresa tra il Miocene

Inferiore-medio e il Burdigaliano superiore - Langhiano. L'Unità affiora solo sporadicamente nel settore d'intervento, a sud lungo la sponda destra del Canale di Paringianu in Loc. Concali Arrubiu, lungo il Canale di Guardia in Loc. Su Medadeddu, in Loc. Stalle Funtana Figu – Su Munzion, lungo le sponde sinistra e destra del Rio Perdaias in Loc. Su Passu Suergiu e in prossimità del centro abitato di Nuraxi Figus dove è in progetto la nuova Stazione di Utenza. In affioramento si presenta di colore bianco sporco – beige per sfumare verso l'alto in un colore bruno rossastro (foto n. 15 e 16), sono evidenti le linee di flusso e un'elevata concentrazione di fiamme; lungo la parte basale è possibile intravedere anche livelli vitrofirici da millimetrici a centimetrici di colore scuro in matrice ossidianacea. La roccia ha un aspetto litoide estremamente saldata e compatta ed interessata da un intenso sistema di fratture, nell'area di intervento poggia su un paleosuolo di spessore decimetrico, localmente arrossato e argillificato. In letteratura si riportano per questa unità spessori variabili da pochi metri sino ad oltre cento.

Seguono le "Rioliti dell'Unità di Nuraxi - **NUR**", queste affiorano con maggiore estensione e sono le meglio rappresentate sia nell'area vasta sia nel settore d'intervento, costituiscono le litologie d'imposta delle opere in progetto (parte dell'impianto fotovoltaico e delle opere di connessione). Le "Rioliti dell'Unità di Nuraxi - **NUR**" sono state attribuite, attraverso datazioni radiometriche, al Langhiano (15,8 Ma). Si tratta di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a composizione riolitica, lo studio microscopico evidenzia la presenza di plagioclasio talora quasi completamente sostituito da sanidino mentre l'associazione femica è rappresentata da pirosseni alterati (ASSORGIA et al., 1990). Questo deposito è quasi sempre caratterizzato da un livello vitrofirico basale, con moderata presenza di cristalli, di spessore da decimetrico a metrico.



Foto 15 - Particolare dell'intensa foliazione ed alveolature delle ignimbriti dell'Unità di Nuraxi.



Foto 16 - Particolare dell'intenso sistema di fratture nelle ignimbriti dell'Unità di Nuraxi.

In affioramento queste litologie si presentano massive ed estremamente saldate di colore che va dal grigio azzurro al rosso scuro, si rinviene inoltre un intenso sistema di fratture ad andamento sia verticale, orientate secondo le principali direttrici tettoniche, sia orizzontali. I livelli basali più compatti sono caratterizzati dalla presenza di fiamme molto allungate generalmente di dimensioni decimetriche di colore grigio chiaro. Le parti superficiali risultano leggermente alterate e fratturate, con intensa foliazione e spaziatura da centimetrica a millimetrica, e con evidenti segni di erosione eolica quali le alveolature e le tafonature. Nel complesso il paesaggio che ne deriva è dato da vasti affioramenti rocciosi a morfologia aspra con creste nette e versanti acclivi generalmente privi di suolo e, quando presenti, sono molto erosi e di spessori ridotti.

a) Complesso sedimentario continentale del quaternario.

Le formazioni più recenti sono rappresentate dai depositi quaternari in prevalenza clastici con differenti facies deposizionali principalmente di ambiente continentale. Questi depositi costituiscono sia i sedimenti attuali sia quelli messi in posto nel Pleistocene e comprendono depositi eolici, depositi alluvionali, depositi di frana e di versante, coltri eluvio-colluviali e per finire suolo vegetale e depositi antropici.

La successione stratigrafica inizia con depositi di ambiente continentale, alluvioni e sabbie eoliche, del Sintema di Portovesme (**PVM**), sub sistema di Portoscuso (**PVM2**) attribuiti al Pleistocene Superiore. Nel settore d'intervento si rinvencono diffusamente le sabbie eoliche del sub sistema di Portoscuso (**PVM2b**), si tratta di sabbie sciolte e arenarie da fini a medie sino a grossolane a composizione quarzoso-calcareo di colore da bianco sporco, beige sino a giallastre disposte talvolta in straterelli isororientati spesso in discordanza angolare. Affiorano in coincidenza delle incisioni e degli avvallamenti all'interno delle vulcaniti con spessori variabili da pochi decimetri a qualche metro. Talvolta, frammisti alle sabbie, si rinvencono depositi granulari alluvio-colluviali provenienti dal dilavamento dei prodotti di alterazione delle vulcaniti.



Foto 17 - Particolare di un affioramento di sabbie eoliche (PVM2b) all'interno della cava di sabbia in Loc. Stalle Funtana Figù.



Foto 18 - Particolare di un affioramento di sabbie eoliche (PVM2b) in coincidenza del sito d'imposta della Stazione di Utenza nei pressi del centro abitato di Nuraxi Figù.

I depositi di tipo alluvionale (Olocene) si rinvencono principalmente in coincidenza della valle incassata del Canale di Paringianu e lungo l'alveo dei corsi d'acqua principali. Questi depositi sono costituiti da depositi alluvionali ciottolosi non cementati, ghiaie e sabbie grossolane con abbondanti sedimenti fini. In corrispondenza del Canale di Paringianu questi depositi sono costituiti da ghiaie e sabbie grossolane di colore bruno che sfumano in coincidenza della piccola pianura di esondazione verso sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie. La natura dei clasti rispecchia la composizione litologica delle principali formazioni presenti nell'area, nello specifico le vulcaniti oligo-mioceniche. Lo spessore di questi sedimenti è a prima vista di difficile valutazione, ma si può presumere che sia variabile entro una forbice che va da qualche metro sino a raggiungere i 10 metri. Esigui spessori di depositi alluvionali si rinvencono lungo il corso del Rio Perdaias e del Rio Resputus anche in questo caso si tratta di depositi alluvionali ciottolosi non cementati, ghiaie e sabbie grossolane con abbondanti sedimenti fini.

Alla base della valle incassata del Canale di Paringianu si rinvencono depositi detritici di versante, depositi in genere monogenici ed eterometrici, con clasti da poco arrotondati a spigolosi, scarsamente elaborati immersi in una notevole matrice fine, accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti. Seguono i depositi antropici la cui origine è da ricollegare all'attività umana e che sono costituiti da cumuli di discarica, materiali di riporto ed aree bonificate, tutti ben rappresentati nel settore Industriale di

Portovesme. Le litologie sin ora elencate sono sporadicamente ricoperte da suoli. In corrispondenza delle litologie ignimbriche abbiamo sottili spessori di suoli localizzati all'interno di conche o in coincidenze di fratture con profili di tipo A C raramente A Bw C, poco profondi (meno di 10 - 15 cm). Lo scheletro varia da comune ad abbondante sia all'interno del profilo, sia in funzione delle caratteristiche e del grado di alterazione del substrato con una struttura poliedrica subangolare. La tessitura varia dalla sabbioso franca a franca, più raramente alla franco argillosa. In coincidenza dei depositi eolici invece sono presenti suoli da profondi a poco profondi in funzione degli spessori delle sabbie eoliche, caratterizzati da profili di tipo A-Bt-C e subordinatamente A-C. Lo scheletro è generalmente assente mentre la tessitura varia da franco-sabbiosa in superficie a franco-sabbioso-argillosa in profondità.



Foto 19 - Particolare del profilo di suolo sviluppato sui depositi ignimbrici cenozoici.



Foto 20 - Particolare del profilo di suolo sviluppato sui depositi eolici pleistocenici.

SEZIONE GEOLOGICA TIPO

Il settore interessato dell'impianto fotovoltaico è in parte impostato sui depositi vulcanici in facies ignimbrica e in parte sui depositi sedimentari pleistocenici, dall'analisi degli affioramenti, delle sezioni affioranti in corrispondenza del Canale di Guardia, del Canale di Paringianu, della Strada Provinciale n. 2 e delle cave di inerti è stato possibile ricostruire diverse tipologie di sezione tipo a partire dai termini più recenti sino a quelli più antichi.

Sezione tipo sui depositi vulcanici

- dal piano di campagna i primi 10/15 cm sono costituiti da suolo, **a questo proposito bisogna precisare che su questa tipologia di paesaggio la presenza di suolo risulta essere alquanto rara e relegata alla presenza di conche o a riempimento di fratture;**
- al di sotto dello strato di suolo si ha la sequenza ignimbrica delle "Rioliti dell'Unità di Nuraxi - **NUR**", con spessori, nell'area di intervento, variabili a seconda dell'area da un minimo di 10 sino ad un max di 30 metri;
- segue la sequenza ignimbrica delle "Rioliti dell'Unità di Monte Crobu - **CBU**" con spessori, anche in questo caso variabili a seconda dell'area da un minimo di 5-10 metri sino ad oltre cento.

Sezione tipo sui depositi sedimentari "sub sistema di Portoscuso (PVM2)":

- dal piano di campagna i primi 20/30 cm sono costituiti da suolo sabbioso;
- seguono i depositi del sub sistema di Portoscuso (**PVM2b**), si tratta di sabbie eoliche sciolte e arenarie da fini con spessori variabili da pochi decimetri a qualche metro;

- al di sotto dei depositi eolici si ha la sequenza ignimbratica delle "Rioliti dell'Unità di Nuraxi - **NUR**", con spessori, nell'area di intervento, variabili a seconda dell'area da un minimo di 10 sino ad un max di 30 metri;
- segue la sequenza ignimbratica delle "Rioliti dell'Unità di Monte Crobu - **CBU**" con spessori, anche in questo caso variabili a seconda dell'area da un minimo di 5-10 metri sino ad oltre cento.

Entrando invece nel dettaglio delle opere in progetto, il campo fotovoltaico vedrà i suoi pannelli impostati principalmente sulle litologie ignimbratiche e subordinatamente su quelle eoliche del quaternario. Per quanto riguarda invece le cabine di campo e di impianto queste sono impostate secondo il seguente schema:

- 17 cabine sono impostate sulle litologie ignimbratiche (CC1.1, CC2.1, CC2.2, CC3.1, CC4.1, CC4.2, CC6.2, CC6.4, CC7.1, CC7.2, CC7.3, CC8.1, CC4.3, CC4.4, C-SUB2, C-SUB3, C-SUB7);
- 8 cabine sono impostate sulle sabbie eoliche (CC6.1, CC6.3, CC7.4, CC8.2, CC8.3, CC8.4, C-SUB6, C-SUB8).

In coincidenza dell'area della futura Stazione Utenza la sezione tipo è la seguente:

- dal piano di campagna i primi 20/30 cm sono costituiti da suolo sabbioso;
- seguono i depositi del sub sistema di Portoscuso (**PVM2b**), si tratta di sabbie eoliche sciolte e arenarie da fini con spessori variabili da pochi decimetri al metro;
- al di sotto dei depositi eolici si ha la sequenza ignimbratica delle "Rioliti dell'Unità di Monte Crobu - **CBU**" con spessori di parecchie decine di metri.

Il tracciato dell'elettrodotto invece si svilupperà sempre in trincea la quale sarà realizzata in parte all'interno delle litologie ignimbratiche, in parte all'interno dei depositi eolici (in questo caso non si esclude che a causa degli esigui spessori di queste litologie parte della trincea di sviluppi all'interno dei depositi ignimbratici) e in parte all'interno dei depositi antropici che costituiscono i rilevati stradali della viabilità secondaria, anche in questo caso, dove gli spessori del rilevato sono poco sviluppati, si andrà a scavare all'interno delle litologie ignimbratiche. Entrando nel dettaglio il tracciato dell'elettrodotto avrà una lunghezza di circa 8.600 metri e si svilupperà:

- per circa 3.120 metri all'interno delle litologie ignimbratiche;
- per circa 3.180 metri all'interno delle sabbie eoliche;
- per circa 2.300 metri all'interno dei rilevati stradali.
- Mentre il tracciato dei cavidotti di collegamento tra le varie cabine nei tre lotti si svilupperanno:
- per circa 3.827 metri all'interno delle litologie ignimbratiche;
- per circa 1.490 metri all'interno delle sabbie eoliche.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto geologico-strutturale del settore in esame, è il principale responsabile dell'idrografia e dell'idrogeologia dell'area e, quindi, dell'attuale circolazione idrica superficiale e sotterranea. Nell'insieme si possono individuare:

- **unità lito-stratigrafiche** con permeabilità di tipo primario per porosità;
- **unità lito-stratigrafiche** con permeabilità di tipo secondario per fratturazione.

Alla prima classe (permeabilità di tipo primario per porosità) appartengono depositi di ambiente continentale, alluvioni e sabbie eoliche, attribuibili al Sintema di Portovesme (**PVM**), sub sistema di

Portoscuso (**PVM2**), i depositi alluvionali e le coltri detritiche poste alla base dei rilievi. I depositi del sub sistema di Portoscuso (**PVM2**) sono caratterizzati da una permeabilità primaria per porosità media con valori di permeabilità (K) variabili all'interno di una forbice che va 10^{-1} cm/sec $< K < 10^{-3}$ cm/sec; si tratta di litologie che, come è stato esposto nel capitolo relativo alla geologia dell'area, ricoprono l'area a macchia di leopardo e sono caratterizzate da spessori variabili da pochi decimetri ad alcuni metri, ne consegue che queste litologie se pur dotate di una discreta permeabilità risultano, a causa degli esigui spessori, dotate di una scarsa capacità d'immagazzinamento e quindi, quando presente, sede di falde di scarso interesse e legate alle precipitazioni più abbondanti. I depositi alluvionali e le coltri detritiche poste alla base dei rilievi presentano in genere un grado di permeabilità (K) da media a medio-alta (K compreso tra 10^{-3} - 10^{-5} m/s) in funzione della granulometria e del tipo di matrice.

Alla seconda classe (permeabilità di tipo secondario per fratturazione) appartengono litologie del complesso vulcanico oligo-miocenico comprendente le "Rioliti dell'Unità di Monte Crobu - **CBU**" e le "Rioliti dell'Unità di Nuraxi - **NUR**". Queste litologie sono impermeabili ma, a causa dall'inteso sistema di fratture che le caratterizza, presentano una permeabilità di tipo secondario da media a medio-bassa. In bibliografia per le facies più compatte si riportano valori di permeabilità medio-bassi con valori di k compresi tra 10^{-9} e 10^{-11} m/s, che passano a medi, con valori di K compresi tra 10^{-4} e 10^{-6} m/s, in coincidenza di faglie o di roccia affetta da alto grado di fessurazione e fratturazione, qui si possono rilevare aumenti della permeabilità e di conseguenza della capacità d'immagazzinamento. Nel complesso queste litologie ospitano falde superficiali di scarso interesse. Per quel che riguarda le falde nell'area in esame sono presenti una falda superficiale di tipo freatico e delle falde profonde. La falda freatica si trova localizzata entro i primi metri al di sotto del piano di campagna all'interno dei depositi eolici, sabbiosi e arenacei del sub sistema di Portoscuso (PVM2) e nei depositi alluvionali antichi e recenti. Queste litologie, visti gli esigui spessori, solo localmente quando le condizioni morfologiche risultano favorevoli all'accumulo sono sede di una modesta falda di tipo freatico con scarse capacità di immagazzinamento e scarsa produttività e l'eventuale circolazione idrica in questi orizzonti superficiali è da considerarsi occasionale e legata alle precipitazioni più abbondanti. Le falde profonde sono localizzate all'interno del complesso sistema di fratture che caratterizza i prodotti vulcanici cenozoici. Nell'area in esame si rinvengono alcune emergenze idriche una in località "Su Munzion" al contatto tra le sabbie eoliche e le vulcaniti, una in località "Funtana Figu" all'interno delle vulcaniti e una terza in località "Su Munzioni" alla quale è collegato un sistema di presa con relativo acquedotto, seguono due piccole sorgenti nel settore sud lungo il corso del Rio Acqua Ierru. In tutti i casi si tratta di sorgenti attive quasi tutto l'anno ma con portata estremamente modesta, dipendente dal volume degli apporti meteorici. Per quanto riguarda l'andamento della falda, uno studio predisposto dall'ISPRA, ha evidenziato come le isofreatiche decrescano a partire da nord-est verso sud-ovest, dal settore collinare vulcanico verso il settore della piana di Portovesme. Per quanto riguarda il livello piezometrico si è provveduto alla misura dei livelli all'interno di alcuni piezometri (messi in opera durante la fase di caratterizzazione delle aree esterne al Polo industriale di Portovesme) localizzati all'interno dell'area d'intervento e nelle sue immediate vicinanze rilevando livelli piezometrici compresi tra i 6 e i 10 metri dal piano di campagna.

Da quanto sin qui esposto ne consegue che le opere in progetto, compresa la linea dell'elettrodotto e le opere di sostegno dei moduli fotovoltaici non andranno ad interferire con la falda superficiale (comunque di modesta entità e limitata all'interno delle fratture beanti delle litologie ignimbritiche e delle sabbie eoliche) ne con l'acquifero profondo; misure effettuate in pozzi e piezometri localizzati nella zona hanno evidenziato come il livello piezometrico sia localizzato tra i 6 e i 10 metri dal piano di campagna quota molto al di sotto di quella prevista per le opere di fondazione delle strutture in progetto.

CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Secondo la nuova normativa (NTC 2018 - punto 3.2) 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. L’azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una “pericolosità sismica di base”, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC). L’azione sismica così individuata viene in seguito variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

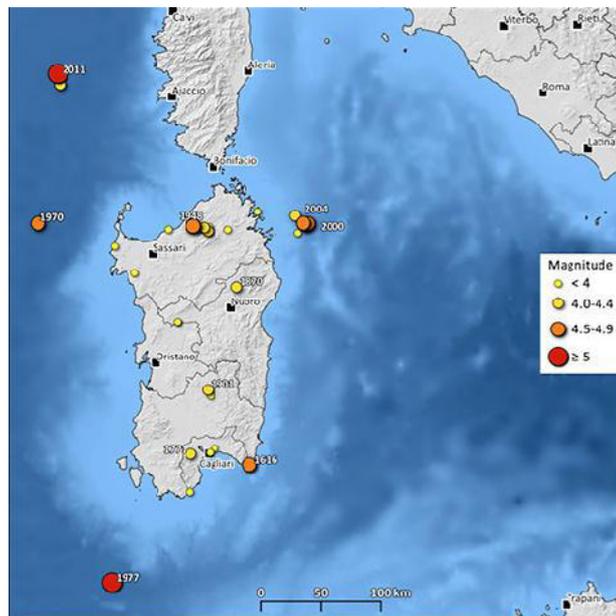


Figura 5 - Carta della distribuzione dei terremoti in Sardegna e relativa magnitudo.

Simicità storica

Andando ad analizzare l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale si riscontra come l'intero Blocco Sardo-Corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni. Infatti sia la Sardegna che la Corsica sono considerate stabili dal punto di vista dell'evoluzione geologica da diversi milioni di anni. Queste aree non sono interessate da una tettonica attiva come nel caso dell'Appennino o di altre regioni italiane e i rari terremoti che avvengono in genere si verificano lungo le coste, dove sono presenti delle antiche faglie che, ogni tanto, possono dar luogo a eventi sismici. Questo fatto fa rientrare la Sardegna tra le regioni a bassa sismicità. Ciò nonostante i terremoti in Sardegna sono sì un evento raro, ma non completamente assente. L'analisi del catalogo storico dei terremoti (database dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) riporta per la Sardegna una serie di eventi sismici:

- 4 giugno 1616, sisma con magnitudo stimata di 4.91 che ha interessato tutta la Sardegna meridionale e che è ricordato da una incisione contenuta nella sacrestia del Duomo di Cagliari;
- 17 agosto del 1771, sisma con magnitudo stimata di 4.43 che anche in questo caso ha interessato la parte meridionale dell'Isola;
- 18 gennaio del 1901, sisma con magnitudo stimata di poco superiore a 4.2;
- 1924, terremoto di magnitudo inferiore a 5 che ha interessato il nord della Sardegna;

- 13 novembre 1948, anche in questo caso di magnitudo inferiore a 5 ha interessato la zona tra Castelsardo e Tempio;
- 24 marzo 2006, terremoto di magnitudo 4.03, e che ha interessato l'area di Capo Teulada;
- 30 gennaio 2020, terremoto di magnitudo 2.6, che ha interessato il tratto di mare tra la Corsica e la Sardegna, registrato dalla Rete Nazionale di Sorveglianza Sismica francese (RéNaSS).

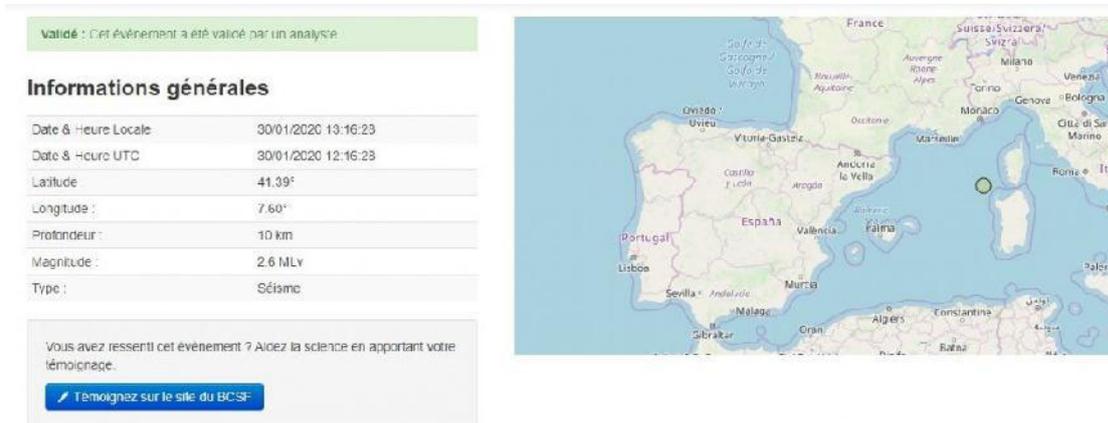


Figura 6 - Scheda relativa al terremoto del 30 gennaio 2020.

Classificazione sismica del territorio nazionale

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n.3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003) è articolata in quattro zone omogenee a cui corrisponde un'accelerazione di riferimento variabile da meno di 0.05 g nella quarta zona fino a 0.35 g nella prima zona. Nella tabella successiva sono riportati i valori di accelerazione per ogni zona omogenea di riferimento.

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

Livelli energetici delle azioni sismiche previste dell'OPCM 3274/03 per le varie zone

Nella seconda colonna della Tabella è riportato il valore di picco orizzontale del suolo (ag/g) espresso in percentuale di “g” (accelerazione di gravità) mentre nella terza colonna sono riportati i valori dell'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico nelle norme tecniche sulle costruzioni. I valori di cui alla Tabella sono tutti riferiti alle accelerazioni che sono attese a seguito di un evento sismico laddove il sottosuolo interessato è costituito da formazioni litoidi o rigide definite quali suoli di fondazione di Categoria A ($V_s \geq 800$ m/s). Nell'ambito della zona 4 sono inclusi tutti quei territori che sono stati esclusi sino ad oggi da ogni classificazione sismica.

I territori del Comune di Portoscuso e di Gonnese si caratterizzano per un basso livello di sismicità in quanto l'intero territorio regionale ricade all'interno della zona 4 e pertanto caratterizzato da valori di accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g] < 0,05 e di

accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ag/g] uguali a 0,05.

Azioni sismiche di progetto

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di intervento. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa “**ag**” 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 Pv_R come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R .

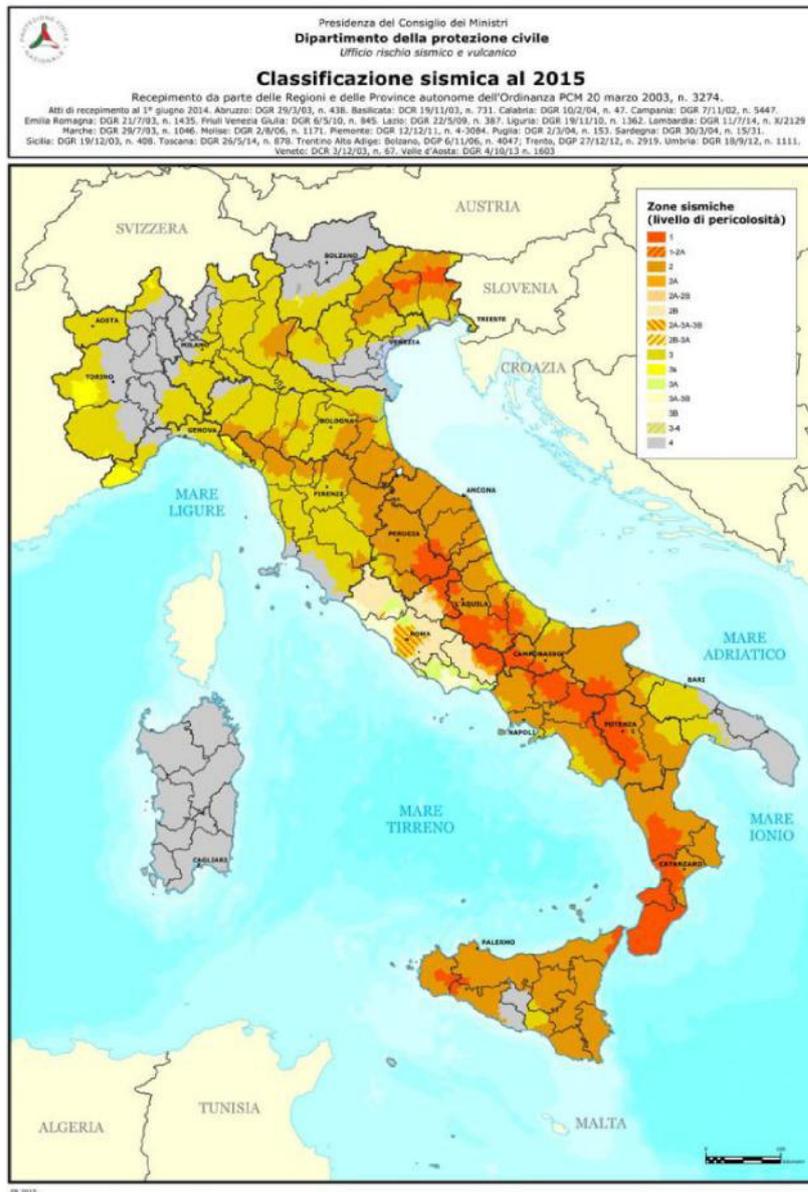


Figura 7 - Carta del rischio sismico in Italia.

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

- a_g :** accelerazione orizzontale massima al sito;
 F_0 : valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
 T^*C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le NTC definiscono la pericolosità sismica di base per una griglia di 10.751 punti, per ciascuno dei quali viene fornita la terna di valori a_g , F_0 e T^*C per nove distinti periodi di ritorno TR . Ai fini del presente studio, per quanto riguarda il territorio regionale, i valori di detti parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità riportati nella Tabella 2, Allegato B - delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2.475 anni. Per il calcolo dei valori sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri in base al tipo di opera in progetto: vita nominale dell'opera V_n , intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazione ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazione elevati	100

Nel nostro caso specifico l'opera in progetto ricade tra quelle classificabili come “costruzioni con livelli di prestazione ordinari”.

Classe d'uso: classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

CLASSE I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
CLASSE II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
CLASSE III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
CLASSE IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

L'opera in progetto appartiene alla Classe d'uso I: “Costruzioni con presenza solo occasionale di persone”. 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 N_v per il coefficiente d'uso C_u :

$$V_r = N_v \times C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso C_u è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente Tabella:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0.7	1.0	1.5	2.0

Dopo aver definito la Vita Nominale e la Classe d'Uso è possibile, quindi, calcolare il Periodo di riferimento per l'azione sismica V_r come:

$$V_r = V_n \times C_u = 50 \times 0,7 = 35 \text{ anni}$$

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*_c e del periodo di ritorno. L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo del software Sismo GIS 4.1.3. della Stacec S.r.l., sulla base dei valori a_g , F_0 , T^*_c relativi all'intero territorio regionale riportati nella Tabella 2, Allegato B - del D.M. 14/01/2008, da cui sono stati ottenuti i seguenti parametri sito-specifici per Vita Nominale (VN) 50 anni e Classe d'Uso I:

Coordinate medie del Sito intervento Latitudine 39.200903 / Longitudine 8.4212514 (WGS84)					
Stati limite		Periodo di ritorno (anni)	a_g (g) valori nominali	F_0	T^*_c (sec)
SLE esercizio	Operatività SLO	30	0.019	2.610	0.273
	Danno SLD	35	0.020	2.626	0.280
SLU ultimo	Salvaguardia della Vita SLV	332	0.045	2.855	0.332
	Prevenzione dal Collasso SLC	682	0.055	2.930	0.356
Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato (elaborazione effettuata mediante "Sismo GIS 4.1.3. della Stacec S.r.l.")					

Dove:

SLE = stati limite di esercizio;

SLO = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

SLU = stati limite ultimi;

SLV = stato limite di salvaguardia della vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si

associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati è riportato nella tabella seguente (Tabella 3.2.I del D.M. 17/01/2018).

Stati Limite	PVR : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -VR / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Risposta sismica locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza della valutazione dell'effetto della risposta sismica locale sulla base di analisi specifiche è possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito, facendo ricorso ad una metodologia semplificata basata sulle categorie di sottosuolo di riferimento (Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018) e sulle categorie topografiche (Tabella 3.2.IV del D.M. 14/01/2008), mediante la seguente relazione:

$$a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$$

in cui:

S_S = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

S_T = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

a_g = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Per la valutazione della categoria di sottosuolo di fondazione sono stati utilizzati i valori della tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 – "Categorie di sottosuolo", sulla base dei risultati dello studio geologico di massima che ha permesso di attribuire le litologie d'imposta delle opere alla categoria "A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m".

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

Amplificazione Stratigrafica

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il coefficiente di Amplificazione stratigrafica (S_s) e il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (C_c) possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 (Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) relativi al sottosuolo di categoria **A** e **B**, mediante le espressioni fornite nella seguente Tabella, nella quale g è l'accelerazione di gravità ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) ed il tempo è espresso in secondi:

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 * F_0 * (\alpha_g/g) \leq 1.20$	$1.10 * (T_c)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 * F_0 * (\alpha_g/g) \leq 1.50$	$1.05 * (T_c)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 * F_0 * (\alpha_g/g) \leq 1.80$	$1.25 * (T_c)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 * F_0 * (\alpha_g/g) \leq 1.60$	$1.15 * (T_c)^{-0.40}$

Condizioni Topografiche

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Dall'analisi morfologica di dettaglio dell'area d'intervento, effettuata sulla base delle elaborazioni dei dati relativi al modello digitale del terreno (DTM) passo 1m (edito dalla Regione Sardegna), l'area direttamente interessata dalla messa in posto delle opere, ricade nella Categoria topografica "T1 Pendii con inclinazione media < 15°".

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

Amplificazione Topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella seguente Tabella, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

<i>Categoria topografica</i>	<i>Ubicazione dell'opera o dell'intervento</i>	S_T
T1	Superficie pianeggiante	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1.2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1.4

Trattandosi di zona con pendenze medie inferiori al 15° , l'area in esame ricade nella categoria T1, a cui è attribuibile un parametro di amplificazione sismica legato alle condizioni topografiche pari a 1,0. In conclusione:

<i>Tipo di costruzione</i>	2
<i>Classe d'uso</i>	I
<i>Vita nominale (Vn)</i>	≥ 50
<i>Coefficiente Cu</i>	0,7
<i>Vita di riferimento Vr=Vn*Cu</i>	35
<i>Categoria sottosuolo</i>	A
<i>Categoria topografica</i>	T1
Tabella riassuntiva dei parametri sismici	

COEFFICIENTI SISMICI	SLO	SLD	SLV	SLC
<i>Ss= coefficiente amplificazione stratigrafica Categoria "A"</i>	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Cc= coefficiente funzione categoria</i>	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>St= coefficiente amplificazione topografica</i>	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>kh</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>kv</i>	-----	-----	-----	-----
<i>Amax [m/s²]</i>	-----	-----	-----	-----
<i>Beta</i>	0,200	0,200	0,200	0,200
Coefficienti sismici - stati limite determinati con GeoStru PS				



Figura 8 - Spettro risposta di progetto CATEGORIA SOTTOSUOLO "A".