



COMUNE DI SANTA GIUSTA

Provincia di Oristano



47

***PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA IN UNA CAVA DISMESSA ENTRO 500 mt. DALLA ZONA INDUSTRIALE
Potenza Nominale 25,965 MWp - Potenza in immissione 25 MW
-progetto definitivo-***

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

scala

data: *Marzo 2023*

rev00

collaboratori:

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

committente

***MYT SARDINIA 5 S.r.l.
Piazza Fontana, 6
20122 Milano (MI)***

progettisti

ing. Carmine Falconi

dr agr. Francesco Saverio Mameli

consulenze:

geom. Paolo Nieddu

arch. Giovanni Soru

***PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA E
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
IN LOCALITA' "S. ELIA" NEL COMUNE DI SANTA GIUSTA (OR)***

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' 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	7
STATO ATTUALE DEI LUOGHI	7
MODELLO GEOMORFOLOGICO	8
MODELLO GEOLOGICO	10
SEZIONE GEOLOGICA TIPO	11
INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	12
CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	12

PREMESSA

Su incarico della società MYT SARDINIA 5 S.r.l. nei mesi da gennaio a marzo del 2023 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.

La relazione geologica (redatta ai sensi del 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 Circolare esplicativa del 24-09-1988 n° 30483 ad esso riferita) si inserisce nell'ambito degli elaborati documentali richiesti a supporto del progetto.

DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO

Il progetto oggetto del presente studio prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di circa 25,965 MWp e relative opere di connessione alla RTN. Nello specifico è prevista la messa in opera di 39.000 moduli in silicio monocristallino, ad alta efficienza, per una potenza complessiva di 665 Wp, montati su strutture di supporto di tipo fisso collegate al suolo tramite pali infissi direttamente nel terreno (tramite macchina battipalo, per una profondità variabile, in funzione della consistenza delle litologie di fondazione da valutare a seguito di adeguata campagna di indagini geognostiche) e disposte ad una distanza di circa 7 metri tra una fila e l'altra.

È inoltre prevista:

- la messa in opera di 5 cabine di smistamento e di una cabina di conversione e trasformazione prefabbricate in c.a.v. (cemento armato vibrato), posizionate su fondazione in monoblocco (per la loro localizzazione si rimanda agli elaborati grafici di progetto);
- la realizzazione di apposita viabilità interna;
- la realizzazione di una recinzione perimetrale realizzata in rete a maglia metallica di altezza pari a circa 2,00 mt;
- la realizzazione di un impianto antintrusione e di videosorveglianza.

L'accesso alle aree sarà garantito attraverso un cancello a doppia anta a battente di larghezza pari a 5 m, idoneo al passaggio dei mezzi pesanti, mentre esternamente alla recinzione sarà posta in opera una fascia arborea autoctona di mitigazione. Non si prevede la realizzazione di nuova viabilità esterna essendo l'area già servita da infrastrutture viarie, si prevede 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 sarà trasferita dalla stazione elettrica di utenza per il collegamento alla RTN attraverso un elettrodotto di collegamento in trincea per una lunghezza complessiva di circa 2,8 km, si svilupperà interamente sul territorio del Comune di Santa Giusta. La linea sarà realizzata principalmente in cavo interrato all'interno di una trincea della profondità di circa 1,4 m, e con una profondità minima di posa dei tubi di almeno 1 m, misurato dall'estradosso superiore del tubo, in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale. In coincidenza del viadotto lungo la Strada Provinciale 97, nel tratto che sovrasta il canale denominato elemento idrico Fiume_522 (che collega lo stagno di Santa Giusta con il bacino del Porto Industriale), l'elettrodotto procederà ancorato alla struttura del ponte per una lunghezza di circa 170 metri.

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.

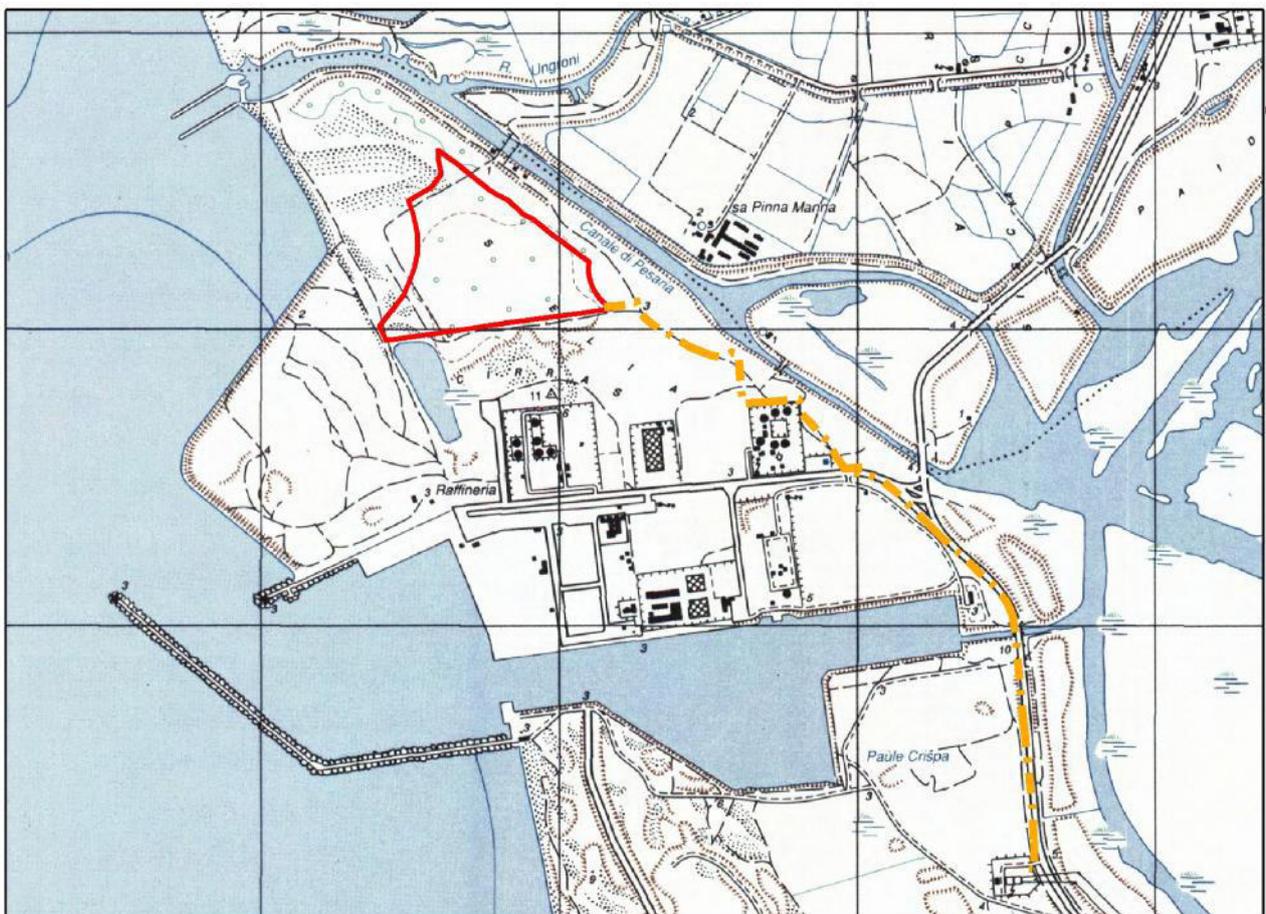


Figura 1 - Inquadramento geografico (IGMI) con localizzazione dell'area d'intervento, scala 1:25.000

ARTICOLAZIONE DEL LAVORO DI STUDIO E DI INDAGINE

Per acquisire gli elementi d'interesse conoscitivo ai fini della presente relazione sono stati eseguiti, nei mesi da gennaio a marzo del 2023, 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.

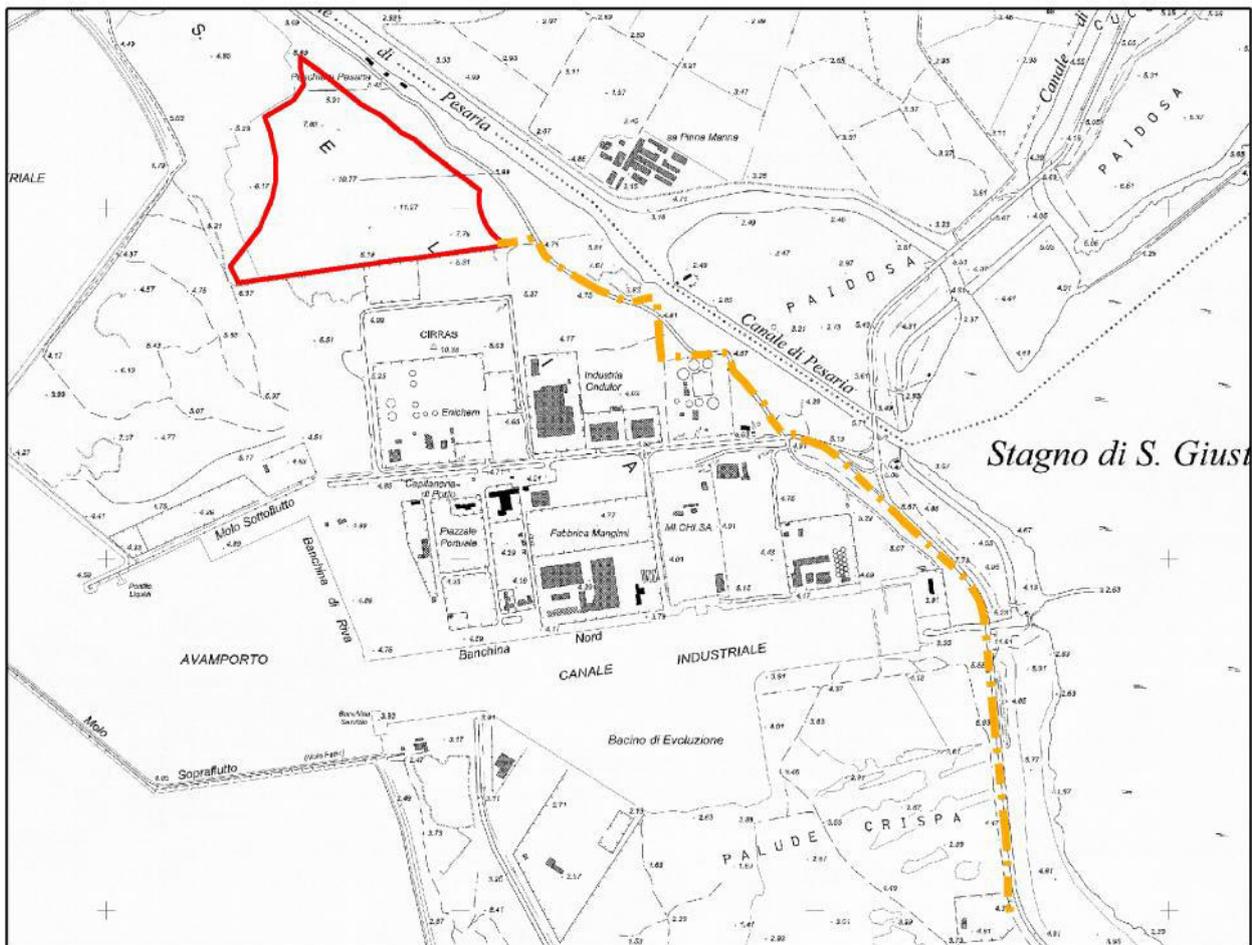


Figura 2 - Inquadramento geografico (CTR) con localizzazione dell'area d'intervento, scala 1:10.000

Le indagini geologiche si sono estese sino 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.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è localizzata nel settore Centro-Occidentale della Sardegna nella regione del Campidano di Oristano, subito ad ovest e sud-ovest dei centri abitati di Oristano e Santa Giusta ad una distanza di oltre due chilometri dal centro abitato di Oristano e oltre quattro chilometri da quello di Santa Giusta.

Dal punto di vista geografico l'area d'intervento ricade nel Foglio n° 528, sezione II "ORISTANO SUD" della Carta d'Italia dell'IGMI in scala 1:25.000, e nel Foglio n° 528, sezione 110 "FOCE DEL TIRSO" 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 è impostato in località "S. ELIA", censita al catasto del comune di Santa Giusta al Foglio n. 4, particelle: 12, 14, 16, 17, 18, 61, 62, 63, 132, 133, 134, 1484, 1521 e 1522. Mentre le opere di connessione si svilupperanno sui Fogli 4 e 9 del Comune di Santa Giusta interessando mappali vari.

L'area è inquadrata nel PDF vigente del Comune di Santa Giusta (10 Marzo 1995) in parte come Zona "H" di salvaguardia, Sottozona "H1" di Rispetto Naturalistico – Ambientale – Monumentale; e in parte come come zona "D", Sottozona "D0" Aree disponibili per le Industrie.

Dal punto di vista logistico la zona oggetto d'intervento è raggiungibile dal settore orientale attraverso delle strade di penetrazione agraria connesse alla viabilità del consorzio industriale e alla Strada Provinciale n.97 che collega il Porto Industriale di Oristano al centro abitato di Oristano e alla Strada Provinciale n.22 che, a sua volta, collega i centri abitati di Santa Giusta e Oristano a quello di Arborea e alla S.S. 131.

STATO ATTUALE DEI LUOGHI

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra su di un lotto posto a ridosso del Nucleo Industriale dell'Oristanese. L'area è posta ad una distanza di oltre due chilometri dal centro abitato di Oristano e ad oltre quattro chilometri da quello di Santa Giusta; è delimitata ad est e a nord dal Canale di Pesaria, a sud confina con il Porto Industriale di Oristano e la relativa area industriale mentre ad ovest confina con il Golfo di Oristano.

Nel complesso l'area risulta essere alquanto antropizzata; il settore subito a sud è interessato dalla presenza del Nucleo Industriale dell'Oristanese, il settore nord e quello orientale è occupato dal Canale di Pesaria che ha perso il suo assetto naturale in seguito alle opere di rettifica e stabilizzazione delle sue rive e della sua foce oltre alla presenza dell'omonima peschiera. Il settore a mare è stato anche esso modificato in seguito alla realizzazione del Porto Industriale di Oristano, che ha visto la realizzazione di opere di sbancamento di interrimento nonché la realizzazione di opere di difesa (barriere frangiflutto). Il territorio direttamente interessato dagli interventi in progetto è stato, a sua volta, oggetto intorno agli anni settanta del secolo scorso di attività di cava oltre che di deposito di sedimenti di dragaggio. Il territorio subito a nord dell'area in esame invece frutto ed oggetto di attività agro-pastorali di tipo zootecnico estensivo ed intensivo di ovini e subordinatamente di bovini, con un utilizzo del suolo a pascolo e seminativo, le strutture insediative di tipo sparso sono costituite da stalle, capannoni e abitazioni legate all'attività agro-zootecnica, mentre lungo la sponda sinistra del Canale di Pesaria sono presenti alcuni fabbricati legati all'attività di pesca.



Figura 3 - Inquadramento su base ortofoto, con localizzazione dell'area d'intervento.

MODELLO GEOMORFOLOGICO

Entrando nel dettaglio, il settore all'interno del quale si andrà a sviluppare l'impianto fotovoltaico in progetto presenta una morfologia da sub-pianeggiante a leggermente inclinata con quote che si aggirano mediamente intorno ai 6/7 m s.l.m..

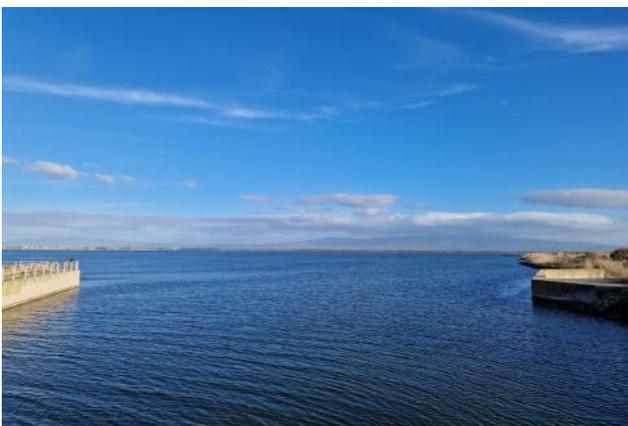


Foto 1 - Panoramica dello stagno di Santa Giusta.



Foto 2 – Panoramica del Canale di Pesaria.

Le pendenze all'interno del lotto si mantengono sempre tra lo zero e il 5% (vedi carta delle acclività allegata al presente elaborato) mentre le quote hanno un andamento decrescente a partire dal settore meridionale dove è presente un accenno di piccolo rilievo (di probabile origine antropica) verso quello settentrionale, qui si passa dagli 11 ai 2 metri sopra il livello del mare, e verso i settori occidentale (verso la costa) e orientale (verso il Canale di Pesaria) a quote attorno ai 5 metri.



Foto 3 – Vista panoramica del settore industriale e del Porto.



Foto 4 – Particolare delle dune di retro spiaggia.

L'area confina a nord e ad est con il Canale di Pesaria e a ovest con il mare; all'interno del lotto nella sua parte più settentrionale sono presenti delle aree da pianeggianti a leggermente depresse che durante la stagione invernale e primaverile danno luogo a ristagni idrici anche prolungati nel tempo. Tutte queste aree non saranno interessate dalle opere in progetto.



Foto 5 – Panoramica dell'area d'intervento dal settore meridionale.



Foto 6 – Panoramica dell'area d'intervento.

Dal rilevamento dello stato dei luoghi non si evincono particolari fenomeni di dissesto ne in atto ne potenziali; le uniche aree morfologicamente attive sono quelle poste a sud dell'area d'intervento in coincidenza dell'area industriale dove sono presenti dei fronti di scavo di alcuni metri d'altezza realizzati durante la fase di rimodellamento del settore industriale, comunque tutte aree al di fuori del lotto. Una seconda criticità riguarda le aree depresse poste nella parte più settentrionale del lotto dove si possono verificare fenomeni di ristagno idrico prolungati nel tempo, anche in questo caso l'impianto non andrà ad

interferire con queste aree. 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'insacco di spinte gravitative e/o tangenziali, purché vengano mantenute le attuali condizioni geomorfologiche al contorno.

MODELLO GEOLOGICO

Nei mesi da gennaio a marzo del 2023 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 sedimentarie oloceniche costituite da alternanze di livelli sabbioso-limosi, ghiaioso-ciottolosi e in parte su depositi antropici costituiti da livelli argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi con rare ghiaie. **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.**



Foto 7 - Particolare dei depositi eolici.



Foto 8 – Particolare dei depositi di spiaggia antichi lungo la sponda sinistra del Canale di Pesaria.

Entrando nel dettaglio i livelli più superficiali sono costituiti da materiale di riporto costituito da livelli argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi con rare ghiaie messi in posto alla fine degli anni settanta del secolo scorso e derivanti dalle opere di rimodellamento dell'area industriale, dell'area del Porto e dalle opere di dragaggio sia del Canale di Pesaria sia dell'area del Porto Industriale. Queste litologie ricoprono la quasi totalità delle superfici occupate dall'impianto comprese le aree di imposta delle cabine di conversione e smistamento.

Nel settore settentrionale, in prossimità della foce del Canale di Pesaria, si rinvencono argille e limi palustri di colore grigio-nerastro con elevata componente organica con subordinate sottili intercalazioni sabbiose. Questi i livelli più francamente argillosi risultano da moderatamente plastici a compatti.

Lungo il confine occidentale del lotto si rinvencono ancora esigui spessori di sabbie eoliche, si tratta di sabbie silicee sciolte di colore da bianco a grigio beige, a testimonianza dell'originaria linea di costa ormai completamente obliterata dalle opere di sistemazione del settore portuale.

Al di sotto dei materiali di riporto, di quelle palustri e dei depositi eolici si rinvencono, come ampiamente documentato lungo i confini occidentali e meridionali del lotto, sedimenti grossolani costituiti da sabbie e ghiaie ad elementi litici evoluti quarziticci (caratterizzati dalla presenza di granuli di dimensione variabile dai 2 mm sino a ciottoli decimetrici), di rocce prevalentemente paleozoiche (ciottoli quarzosi e

ciottoli di rocce intrusive e metamorfiche) e in maniera subordinata di rocce laviche terziarie in matrice sabbioso-argillosa mediamente addensati. In affioramento si rinvencono livelli decimetrici più marcatamente ghiaiosi. Gli spessori documentati di queste litologie si aggirano attorno ai 7 – 8 metri.



Foto 9 - Affioramento di depositi alluvionali, sabbioso-ghiaiosi.



Foto 10 - Particolare di depositi alluvionali, sabbioso-ghiaiosi.

La marcata eterogeneità di questi depositi è da ricercare nella dinamica deposizionale del paleo Tirso e agli interscambi con l'ambiente costiero.



Foto 11 - Panoramica dei depositi antropici, materiali di riporto all'interno del lotto di intervento.



Foto 12 - Particolare dei depositi antropici, materiali di riporto all'interno del lotto di intervento.

SEZIONE GEOLOGICA TIPO

Sulla base del rilevamento di campagna, dell'analisi dei fronti degli sbancamenti presenti in coincidenza del settore industriale e dei dati provenienti da indagini geognostiche effettuate in aree limitrofe a quelle del settore interessato dell'impianto fotovoltaico è stato possibile ricostruire due sezioni tipo a partire dai termini più recenti sino a quelli più antichi:

a) Sezione tipo in coincidenza dei depositi antropici:

- dal piano di campagna i primi due/tre metri sono costituiti da livelli argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi con rare ghiaie;
- dai due tre metri sino a 10 - 11 metri dal piano di campagna sedimenti grossolani costituiti da sabbie e ghiaie ad elementi litici evoluti.

b) Sezione tipo in coincidenza dei depositi alluvionali:

- dal piano di campagna i primi 20/30 cm sono costituiti da suolo sabbioso;
- a seguire sino a 7 - 8 metri dal piano di campagna sedimenti grossolani costituiti da sabbie e ghiaie ad elementi litici evoluti.

Il **tracciato dell'elettrodotto** invece si svilupperà in trincea per una lunghezza di circa 2.800 metri; a partire dal settore dell'impianto la parte più superficiale della trincea sarà realizzata in parte all'interno **dei depositi antropici** costituiti da livelli argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi con rare ghiaie per una lunghezza di circa 70 metri, seguono un tratto di circa 450 metri impostato nelle sabbie quarzose, un tratto di 480 metri all'interno di depositi antropici di varia natura in coincidenza del settore industriale, mentre il tratto finale dell'elettrodotto si svilupperà all'interno dei rilevati stradali delle strade consortili e della strada Provinciale n.97. In coincidenza del viadotto lungo Strada Provinciale n.97 l'elettrodotto procederà ancorato alla struttura del ponte per una lunghezza di circa 170 metri.

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, è infatti possibile suddividere a grandi linee il territorio in esame sulla base delle caratteristiche di permeabilità delle singole litologie e su questa base individuare due classi di permeabilità:

- Unità lito-stratigrafiche con permeabilità di tipo primario per porosità comprendenti i termini sabbioso-conglomeratici caratterizzati da una permeabilità variabile da medio-bassa a medio-alta in funzione della natura litologica, della distribuzione granulometrica all'interno dei vari strati e del loro grado di cementazione. La permeabilità quindi può variare da medio-alta in coincidenza dei livelli sabbioso-conglomeratici, a medio-bassa in coincidenza dei livelli a matrice limoso-argillosa.

- Unità lito-stratigrafiche con permeabilità di tipo primario per porosità comprendenti i termini argilloso-limoso-sabbiosi affioranti in coincidenza delle aree peristagnali, di quelle a ristagno idrico e in coincidenza dei depositi antropici costituiti da livelli argilloso-sabbiosi e limoso-argillosi che mostrano nel complesso permeabilità da medio-bassa a nulla.

Rilevamenti effettuati su alcuni sondaggi presenti all'interno dell'area industriale, all'interno di alcuni lotti non edificati nel settore orientale (interessati da attività di sbancamento) e della quota delle acque lungo il corso del Canale di Pesaria, hanno evidenziato un livello freatico variabile da un minimo di - 2,5 m dal piano di campagna nel settore settentrionale a circa -9 m dal piano di campagna in quello centrale e in quello meridionale in prossimità del confine con il settore industriale.

Ne consegue che le opere in progetto, compresa la linea dell'elettrodotto e le opere di sostegno dei moduli fotovoltaici non andranno ad interferire ne con la falda superficiale (comunque di modesta entità) ne con l'acquifero profondo localizzato all'interno delle litologie alluvionali.

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.

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).

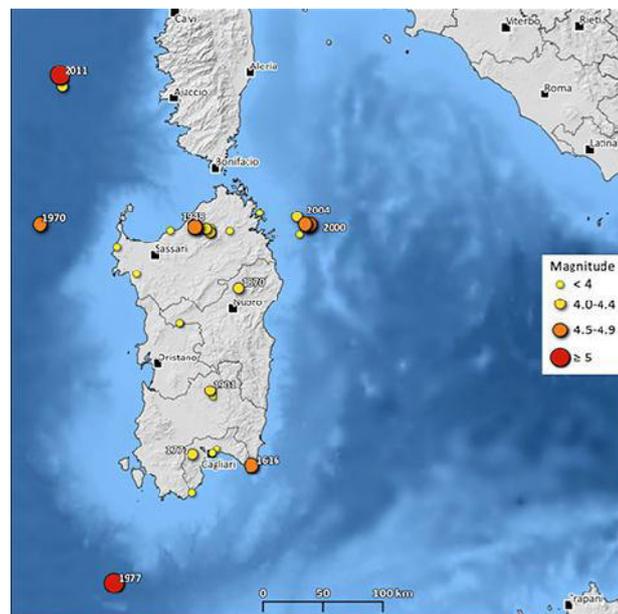


Figura 4 - Carta della distribuzione dei terremoti in Sardegna e relativa magnitudo.

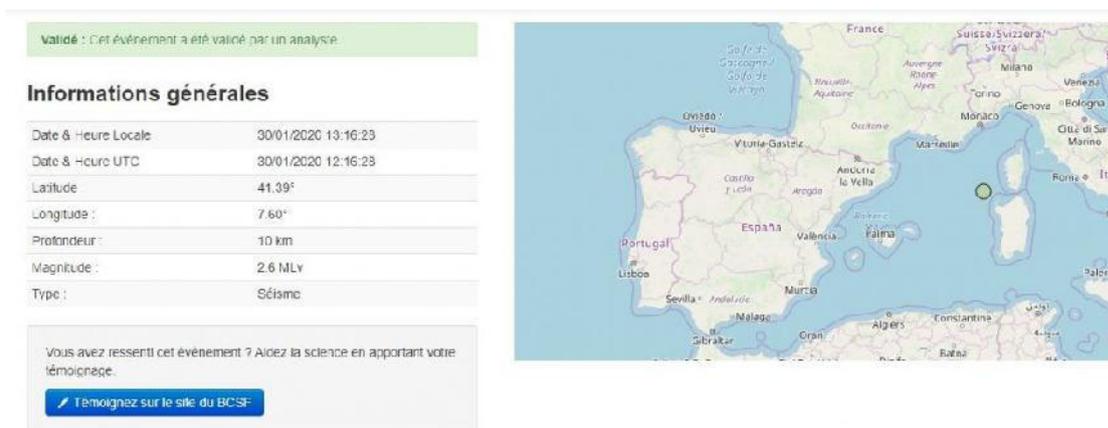


Figura 5 - Scheda relativa al terremoto del 30 gennaio 2020.

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.

Il territorio del Comune di Santa Giusta si caratterizza 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 .

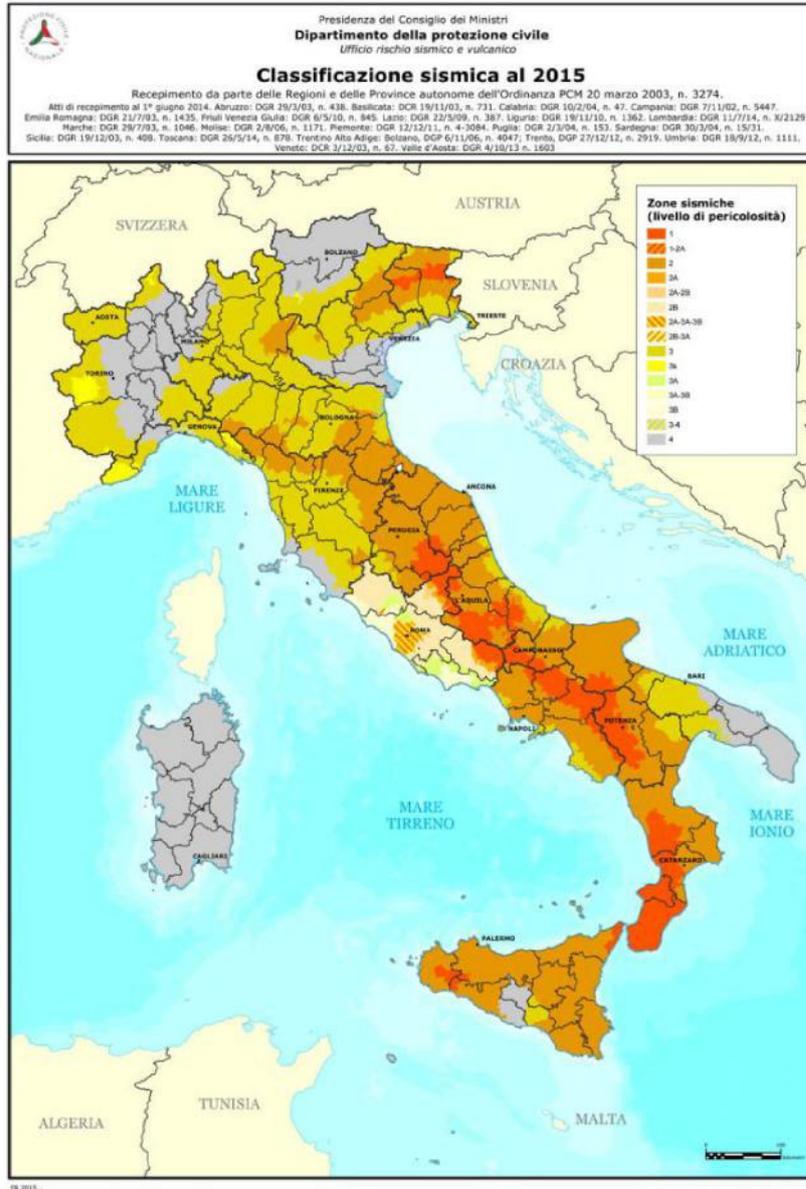


Figura 6 - Carta del rischio sismico in Italia.

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 VN (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 :

$$V_r = V_n \times C_u$$

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
Valori del coefficiente d'uso C_u				

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 2019.3.1., 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:

<i>Coordinate del Sito intervento Latitudine 39.875022/ Longitudine 8.5512855 (WGS84)</i>					
<i>Stati limite</i>		<i>Periodo di ritorno (anni)</i>	<i>a_g (g) valori nominali</i>	<i>F_0</i>	<i>T^*_c (sec)</i>
<i>SLE esercizio</i>	<i>Operatività SLO</i>	<i>30</i>	<i>0.019</i>	<i>2.610</i>	<i>0.273</i>
	<i>Danno SLD</i>	<i>35</i>	<i>0.020</i>	<i>2.626</i>	<i>0.280</i>
<i>SLU ultimo</i>	<i>Salvaguardia della Vita SLV</i>	<i>332</i>	<i>0.045</i>	<i>2.855</i>	<i>0.332</i>
	<i>Prevenzione dal Collasso SLC</i>	<i>682</i>	<i>0.055</i>	<i>2.930</i>	<i>0.356</i>
<i>Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato (elaborazione effettuata mediante "Sismo GIS 4.1.3. della Stacec S.r.l.")</i>					

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 rigidezza 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 "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".

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana 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.</i>
C	<i>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.</i>

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 **F₀** (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 m/s²**) ed il tempo è espresso in secondi:

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

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°".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media > 15°
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°

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.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	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:

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

COEFFICIENTI SISMICI	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss= coefficiente amplificazione stratigrafica Categoria "C"	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc= coefficiente funzione categoria	1,612	1,569	1,499	1,455
St= coefficiente amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
kh	0.012	0.012	0.012	0.012
kv	0.006	0.006	0.006	0.006
Amax [m/s ²]	0.600	0.600	0.600	0.600
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200
Coefficienti sismici - stati limite determinati con GeoStru PS				

