

Progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto eolico denominato "Luras"

Progetto definitivo

Oggetto:

LUR.54 – Relazione Geologica

Proponente:



LURAS WINDFARM
ENERGY & INFRASTRUCTURE

Luras Windfarm
Via Dante 7
20123 Milano (Milano)

Progettista:



Stantec S.p.A.
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova
Segrate (Milano)

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	12/01/2024	Prima Emissione	A. Santambrogio	S.Bossi	G.Prosperi
Fase progetto: Definitivo				Formato elaborato: A4	

Nome File: LUR.54 – Relazione Geologica

Indice

1	PREMESSA	3
1.1	Bibliografia e normativa di riferimento.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3	INQUADRAMENTI TERRITORIALI.....	7
3.1	Inquadramento Geologico	7
3.2	Inquadramento Geomorfologico	9
3.3	Inquadramento Idrologico e Idrogeologico.....	10
3.4	Evidenze da sopralluogo in campo	11
3.4.1	Contesto geologico di sito	11
3.4.2	Verifica delle pericolosità idro-geologiche.....	13
4	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI.....	14
5	INQUADRAMENTO SISMICO	16
5.1	Zone sismogenetiche	18
5.2	Storia Sismica dell'area.....	18
5.3	Sismicità dell'area.....	19
5.3.1	Effetti di amplificazione topografica.....	20
5.3.2	Categoria sismica dei terreni	21
5.3.3	Pericolosità sismica di base	21
5.4	Verifica a liquefazione dei terreni di fondazione.....	23
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	25
6.1	Parametri geotecnici di progetto	25
7	CONCLUSIONI	27

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto Luras.....	5
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto Luras	6
Figura 3-1: stralcio foglio geologico 443 "Tempio Pausania" alla scala 1:50.000.....	8
Figura 3-2: Panoramica con evidenza di tor e inselberg verso zona impianto;.....	9
Figura 3-3: inquadramento geomorfologico dell'area	10
Figura 3-4: condizione di arenizzazione delle rocce granitoidi nei pressi della postazione WTG T4;	12
Figura 3-5: condizione di arenizzazione delle rocce granitoidi nei pressi della postazione WTG T3;	12
Figura 4-1: Perimetrazioni PAI regione Sardegna - Pericolo Idraulico	15
Figura 4-2: Perimetrazioni PAI regione Sardegna - Pericolo Geomorfologico	15
Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale	17
Figura 5-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS);.....	18
Figura 5-3: Serie storica dei sismi.....	19

Indice delle tabelle

Tabella 2-1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione.....	6
Tabella 5-1: zone sismiche del territorio nazionale.....	16
Tabella 5-2: Categorie di amplificazione topografica - NTC 2018.....	21
Tabella 5-3: Parametri di pericolosità sismica per TR	22
Tabella 5-4: Stabilità dei pendii e fondazioni NTC 2018.....	22
Tabella 6-1: parametri geotecnici di progetto	25

1 PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica e geotecnica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per la progettazione definitiva dell'impianto eolico denominato "Luras" ubicato nei comuni di Luras, Tempio Pausania e Calangianus, in provincia di Sassari, in Sardegna, costituito da 5 aerogeneratori di potenza 6,2 MW ciascuno, con una potenza complessiva dell'impianto pari a 31 MW e sistema BESS integrato da 10 MW di potenza.

Per informazioni dettagliate riguardo al proponente dell'iniziativa e il progetto proposto, si rimanda all'elaborato "LUR.00 - Presentazione del proponente e dell'iniziativa". Il documento è finalizzato a fornire una indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici e idrogeologici con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti ed una caratterizzazione di massima dei litotipi che verranno interessati dalle opere di fondazione per l'edificazione dell'impianto.

L'indagine in oggetto al presente elaborato si è basata su dati e studi di origine bibliografica e sulla documentazione fornita dalla committenza.

Lo studio, dunque, ha affrontato e approfondito i seguenti temi:

- Inquadramento del contesto geotecnico-strutturale.
- Assetto geomorfologico, idrologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area.
- Inquadramento e caratterizzazione sismica dei terreni.
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante consultazione della letteratura disponibile
- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, ottenuta tramite la consultazione di lavori eseguiti nell'area di progetto e nelle sue vicinanze, al fine di verificare le caratteristiche geotecniche dei terreni.

1.1 Bibliografia e normativa di riferimento

Nella redazione del presente elaborato, sono state seguite e rispettate le indicazioni delle seguenti norme nazionali e regionali:

- DM 17/1/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni".
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP, "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1997-1:2013 "Eurocodice 7 – progettazione geotecnica".

Per la raccolta delle informazioni bibliografiche si è invece fatto riferimento a:

- Layer cartografici messi a disposizione dal Geoportale Regionale della Sardegna,
- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna
- Note Illustrative allegate alla cartografia del progetto Carg/Ispra alla scala 1:50000, relativa all'area in studio – Foglio 443 “Tempio Pausania”
- Piano di gestione del distretto idrografico della Regione Sardegna

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in cui sarà ubicato il parco eolico in oggetto, denominato Luras, è collocato nei comuni di Luras, Tempio Pausania e Calangianus nella provincia di Sassari, in Sardegna.

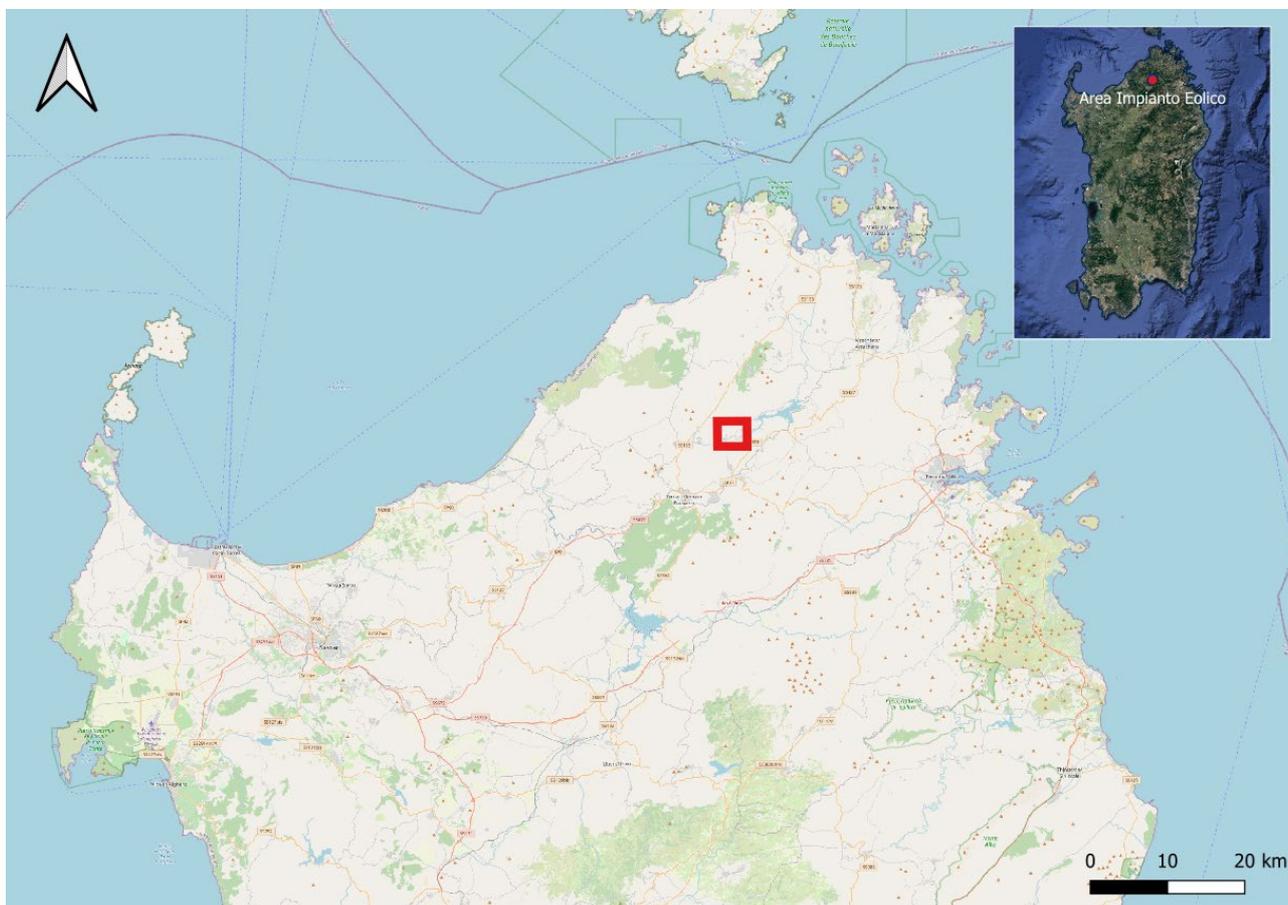


Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto Luras

L'impianto eolico Luras è situato in una zona prevalentemente collinare caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 330 m.s.l.m.

Il parco eolico ricade all'interno dei fogli catastali n° 12, 13, 16 e 19 del comune di Luras e all'interno del foglio n° 5 del comune di Tempio Pausania sezione B.

In Figura 2-2 è riportato l'inquadramento territoriale dell'area nel suo stato di progetto, con la posizione degli aerogeneratori su ortofoto.

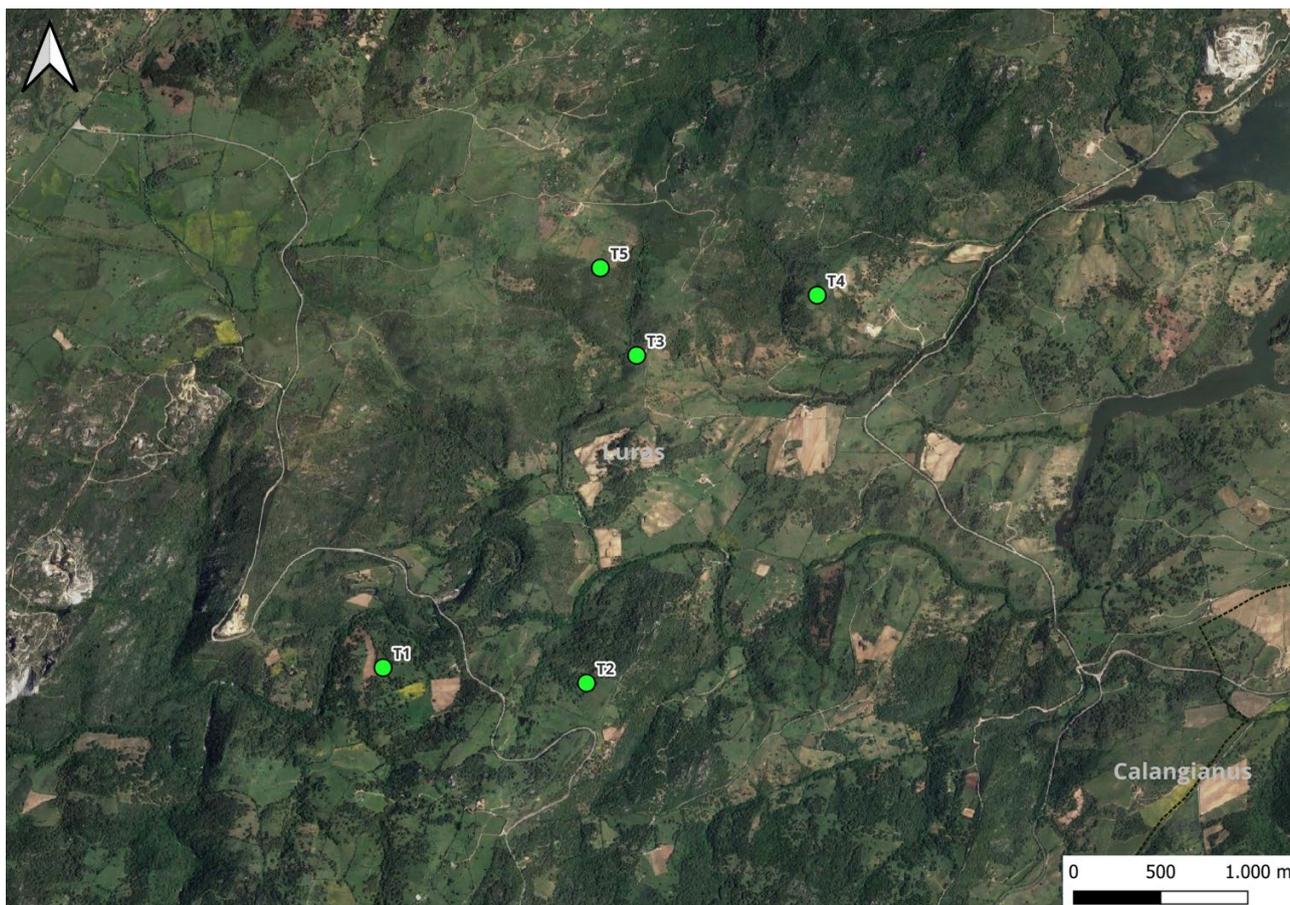


Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto Luras nel suo stato di progetto

Si riporta in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle turbine eoliche di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 32 N:

Tabella 2-1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]
T1	Luras	513607	4534932
T2	Luras	514776	4534844
T3	Luras	515064	4536740
T4	Luras	516100	4537088
T5	Luras	514855	4537245

3 INQUADRAMENTI TERRITORIALI

3.1 Inquadramento Geologico

La Sardegna è classicamente divisa in tre insiemi geologici che affiorano per estensioni circa equivalenti: il basamento metamorfico ercinico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le successioni sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche. Il basamento sardo è infatti un segmento della catena ercinica sud-europea che dalla maggior parte degli autori è considerata una catena collisionale con subduzione della crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano, seguita da collisione continentale con importante ispessimento crostale (circa 350 Ma) e magmatismo durante il Devoniano superiore e Carbonifero.

L'area di interesse è collocata in un settore di affioramento del complesso intrusivo e filoniano tardo-paleozoico. I granitoidi tardo-ercinici costituiscono circa un quarto dell'Isola e insieme alle intrusioni granitoidi della Corsica formano il Batolite sardo-corso, che rappresenta il più importante della catena ercinica europea, estesa per una lunghezza di 400 Km ed una larghezza di oltre 50 Km.

I massici leucomonzogranitici di Buddusò e Tempio Pausania hanno età Permiano inferiore e la messa in posto del batolite occupa un arco di circa 60 Ma; è lecito aspettarsi dunque, cambiamenti del quadro geodinamico che si riflettono sui caratteri strutturali e composizionali delle diverse intrusioni.

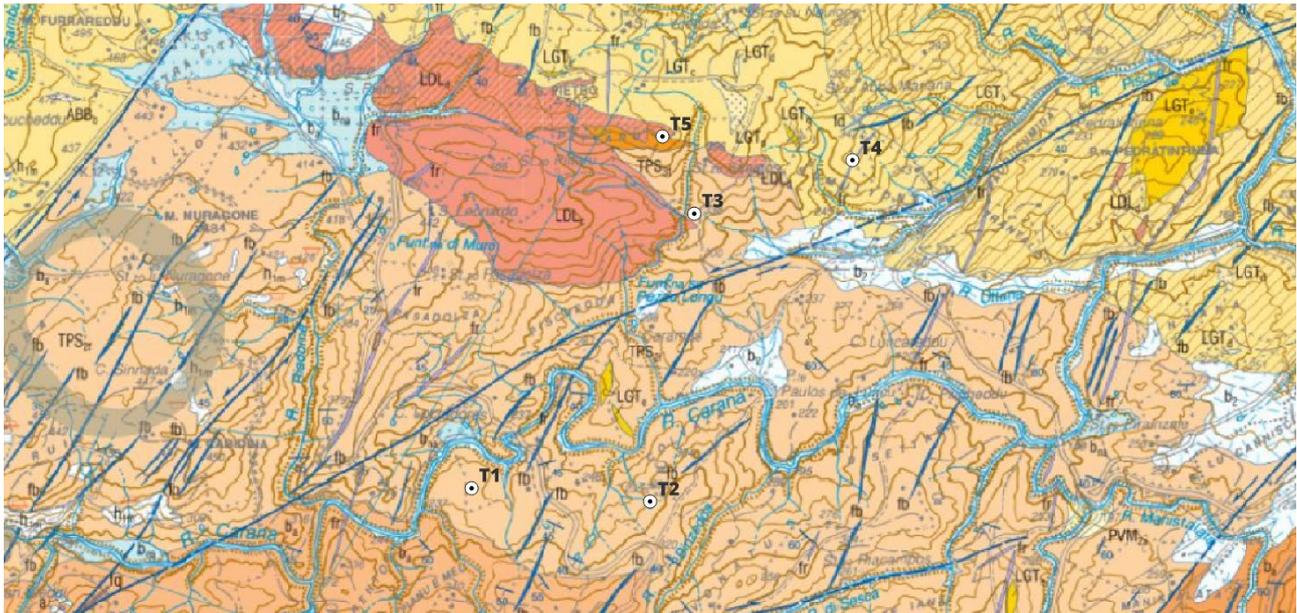
Nella seguente Figura 3-1 è riportata la cartografia geologica dell'area in studio, tratto dal foglio CARG n. 443 "Tempio Pausania" della carta geologica d'Italia (ed. Ispra).

Si osserva che l'area in studio è caratterizzata dall'affioramento di rocce granitoidi di diversa composizione, di seguito descritte:

Unità intrusiva di Lago del Liscia (LDL): unità costituita da cinque petrofacies, una a composizione gabbroide, tre a composizione prevalentemente granodioritico-monzogranitica e una leucogranitica. Si osserva che la WTG T5 ricade in un'area di affioramento della facies monzogranitica.

Unità intrusiva di Tempio Pausania (TPS): questa unità è estremamente complessa ed articolata, raggruppa litofacies molto eterogenee; si osserva che le WTG T1-T2-T3 sono ubicate in un areale in cui affiora la sub-unità in facies Monzogranitica.

Unità intrusiva di Luogosanto (LGT): unità costituita da cinque petrofacies, di cui due a composizione monzogranitica, una costituita da sienograniti, una da microleucograniti e una da sieniti. La WTG T4 ricade proprio in un affioramento di quest'ultima facies. In bibliografia è riportato che tali rocce si presentano quasi sempre molto alterate e mostrano una struttura massiccia.



Sub-unità intrusiva di Catala



Monzograniti inequigranulari. Facies Punta Paoleddu (TPS_{2f})

Monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli eudrali di K-feldspato con taglia da 1 a 4 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite in percentuale del 10%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Monzograniti inequigranulari. Facies Punta Lovia Avra (TPS_{2a})

Monzograniti a grana grossa, inequigranulari per fenocristalli eudrali di K-feldspato di taglia da 2 a 6 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite intorno al 13%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Monzograniti fortemente inequigranulari. Facies Monte di La Jescia (TPS_{2d})
Monzograniti a grana molto grossa, fortemente inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato eudrali di taglia fino a 12 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite al 15%. Abbondanti inclusi microgranulari basici; tessitura marcatamente orientata per flusso magmatico.

Granodioriti microporfiriche. Facies Giaccone (TPS_{2c})

Granodioriti a grana fine, da equigranulari a inequigranulari, tessitura porfirica per fenocristalli anedrali millimetrici di plagioclasio, K-feldspato, quarzo, e biotite al 15%. Sporadica presenza di inclusi microgranulari scuri.

Tonaliti. Facies Rinaggio (TPS_{2b})

Tonaliti inequigranulari a grana media, porfiriche per fenocristalli di plagioclasio, K-feldspato eudrali di dimensioni centimetriche, quarzo, e biotite intorno al 20%. Tessitura orientata per flusso magmatico.

Brecce magmatiche quarzodioritiche. Facies Riu Pedralza (TPS_{2a})

Ammasso costituito da frammenti di rocce di forma lenticolare o angolari, a composizione quarzodioritica a grana fine, inglobati in matrice granodioritica grigio chiara. Ammasso incluso nei monzograniti della facies Monte di La Jescia.

PERMIANO

Sub-unità intrusiva di Monte Limbara



Aplopegmatiti. Facies Monte La Elitica (TPS_{3f})

Ammassi microgranitici a tessitura aplopegmatitoide con fenocristalli di K-feldspato e quarzo talvolta ben sviluppati e abbondante biotite scheletrica. Diffuse cavità miarolitiche e tasche pegmatitiche.

Microleucograniti. Facies Punta Bozzicu (TPS_{3e})

Leucograniti a grana fine, a tendenza aploiteoide, equigranulari con cristalli di taglia submillimetrica. Rarissima biotite e inclusi microgranulari scuri assenti.

Leucograniti porfirici. Facies Punta Balistreni (TPS_{3d})

Leucograniti a grana medio-fine e struttura porfirica per fenocristalli di K-feldspato centimetrici, plagioclasio anedrale e abbondante quarzo globulare; in ammassi a giacitura filoniana.

Leucograniti. Facies Vallicciola (TPS_{3c})

Leucograniti a grana medio-fine da equigranulari a debolmente inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato, plagioclasio, quarzo e biotite spesso alterata. Tessitura isotropa e colorazione bianco giallastra tendenzialmente uniforme. (²⁰⁷Pb/²³⁵U: 281,5 ± 2,3 Ma).

Leucograniti inequigranulari. Facies Monte di Li Conchi (TPS_{3b})

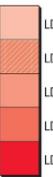
Leucograniti a grana medio-grossa, inequigranulari per rari fenocristalli di K-feldspato subedrali di taglia compresa tra 0,5 e 2 cm, plagioclasio, quarzo globulare e biotite poco abbondante.

Leucograniti inequigranulari. Facies Monte San Giorgio (TPS_{3a})

Leucograniti a grana medio-grossa, inequigranulari per fenocristalli di K-feldspato eudrali di taglia compresa tra 1 e 3 cm, plagioclasio, quarzo talvolta globulare e biotite intorno al 5%. Tessitura debolmente orientata per flusso magmatico.

PERMIANO

UNITÀ INTRUSIVA DI LAGO DEL LISCIA



Microleucograniti. Facies Stazzo Nalbina (LDL₄)

Leucograniti a grana molto fine a struttura equigranulare a tratti microporfirica, con paragenesi a quarzo, K-feldspato, plagioclasio, biotite e rari cristalli di muscovite.

Granodioriti monzogranitiche. Facies Santa Maria delle Grazie (LDL₃)

Granodioriti monzogranitiche a grana da medio-fine a medio-grossa, da equigranulari a moderatamente inequigranulari per la presenza di fenocristalli di K-feldspato di taglia da 0,5 a 1 cm, abbondante plagioclasio, quarzo, biotite intorno al 20%, raro anfibolo. Tessitura debolmente orientata per flusso magmatico.

Granodioriti monzogranitiche. Facies Stazzo Pittaru (LDL₂)

Granodioriti monzogranitiche a grana media a tendenza inequigranulare, porfiriche per fenocristalli di plagioclasio, K-feldspato di taglia fino a 2 cm, quarzo globulare e biotite intorno al 20%.

Granodioriti monzogranitiche inequigranulari. Facies Sant'Antonio di Gallura (LDL₁)

Granodioriti monzogranitiche a grana medio-grossa, inequigranulari per la presenza di fenocristalli di K-feldspato di taglia fino a 5 cm, plagioclasio, quarzo, e biotite intorno al 20%. Tessitura marcatamente orientata per flusso magmatico.

Quarzodioriti. Facies Stazzo Pione (LDL₀)

Ammassi a composizione quarzodioritica, ollocristallini, fortemente melanocratici, a tessitura porfirica per fenocristalli di plagioclasio immersi in una massa microcristallina costituita da plagioclasio, K-feldspato, quarzo, biotite e anfibolo.

CARBONIFERO SUP. - PERMIANO

UNITÀ INTRUSIVA DI LUOGOSANTO



Sieniti. Facies Montiggiu Santu (LGT₅)

Sieniti in ammassi, a grana grossa, a struttura inequigranulare, tessitura isotropa e paragenesi a K-feldspato dominante, rarissimo quarzo e femici molto ossidati.

Microleucograniti. Facies Stazzo Vitedda (LGT₄)

Leucograniti a grana molto fine a tessitura isotropa, da equigranulari a pegmatitici con rari cristalli di K-feldspato, plagioclasio, quarzo, e biotite scheletrica.

Sienograniti. Facies Monte Pulchiana (LGT₃)

Sienograniti a grana media a struttura equigranulare isotropa con K-feldspato e plagioclasio anedrali, quarzo, e biotite al 5%; assenza di inclusi microgranulari scuri.

Monzograniti inequigranulari. Facies Monte Agliu (LGT₂)

Monzograniti a grana media a tendenza inequigranulare e tessitura isotropa, con fenocristalli di K-feldspato di taglia fino a 3 cm, plagioclasio anedrale, quarzo, e biotite in adunamenti, in percentuale del 7%. Rari inclusi melanocratici.

Monzograniti inequigranulari. Facies Monte Franchinu (LGT₁)

Monzograniti a grana medio-grossa a tendenza leucocratica, struttura da equigranulare a moderatamente inequigranulare, tessitura porfirica per fenocristalli di K-feldspato e plagioclasio di taglia fino a 1,5 cm, quarzo, e biotite al 5-7%.

PERMIANO

PALEOZOICO

COMPLESSO FILONIANO TARDO-PALEOZOICO



Filoni idrotermali a quarzo prevalente (fq).

Filoni riolitici. Filoni e ammassi di composizione acida (SiO₂>70%) e serialità calcalcalina (fr).

Filoni quarzoandesitici e dacitici. Filoni e ammassi di composizione prevalentemente intermedia (SiO₂<70%) e serialità calcalcalina (fd).

Filoni basaltico-olivini e trachibasaltici. Filoni di composizione basica a serialità transizionale (fb).

PERMIANO

Figura 3-1: stralcio foglio geologico 443 "Tempio Pausania" alla scala 1:50.000 - progetto CARG (per gentile concessione ed uso da parte di ISPRA)

3.2 Inquadramento Geomorfologico

L'area in esame occupa un settore interno della Sardegna settentrionale posto a cavallo tra il Golfo dell'Asinara e il Golfo di Olbia; la morfologia di questo settore è tipica del settore, contraddistinto da un insieme di aspetti geomorfologici e paesaggistici comuni negli ambienti granitici. È fondamentalmente caratterizzata da un paesaggio di tipo montano con rilievi che raggiungono nella zona delle quote massime di 500 m slm (Monte San Pietro).

L'eredità strutturale ha svolto un ruolo importante nel modellamento dell'area dato che la maggior parte delle valli si approfondisce lungo le faglie e le fratture della tettonica alpina, orientale prevalentemente circa NE-SW. Il paesaggio assume gradualmente forme meno aspre che diventano decisamente più morbide soprattutto nel settore N e NE, in corrispondenza di litologie a composizione monzogranitica. Risultano del tutto assenti le piane alluvionali: la morfologia montuosa e collinare viene interrotta solo localmente da ampie distese di depositi detritici di fondovalle.

A scala più piccola l'erosione delle rocce cristalline lungo faglie e fratture ha generato un paesaggio tipico e ben descritto in zone aride. L'area, infatti, pur non essendo attualmente interessata da un clima arido, lo è stata per larga parte delle ultime fasi fredde pleistoceniche. Si tratta di forme caratteristiche di versante su rocce cristalline cioè tipici dossi e crinali arrotondati in cui le fratture, la loro intersezione, densità e persistenza, guidano l'erosione selettiva generando localmente ammassi cupoliformi, tor e pilastri più o meno isolati. Numerosi sono anche gli inselberg come quelli di Monte Pulchiana e forme da erosione selettiva delle rocce granitiche come campi di blocchi con mega boulder e tafoni e nidi d'ape.

Di seguito un particolare delle strutture morfologiche osservate durante il sopralluogo in sito condotto a giugno 2023.

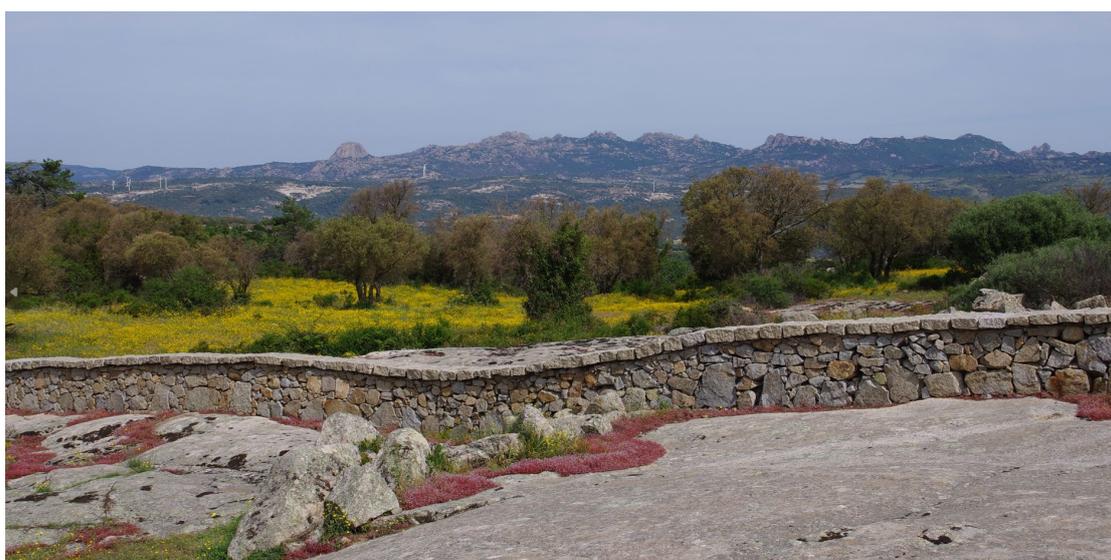


Figura 3-2: Panoramica con evidenza di tor e inselberg verso zona impianto; punto di scatto della foto dal dolmen Ladas (Luras)



Figura 3-3: inquadramento geomorfologico dell'area con indicazione delle curve di livello e reticolo idrografico

3.3 Inquadramento Idrologico e Idrogeologico

Come accennato precedentemente l'impostazione del reticolo idrografico è stata fortemente influenzata dai lineamenti strutturali di questo settore della Gallura, strettamente correlati agli effetti della tettonica terziaria. Si osserva che la geometria del reticolo ha forma angolare e segue l'orientazione circa NE-SO dei lineamenti tettonici, con tendenza a formare una serie di gomiti e meandri incassati in roccia.

Il corso d'acqua principale nella zona è il Riu Carana che si articola e drena i deflussi nel settore a Nord di Tempio Pausania, nell'areale di impianto.

Riguardo all'idrogeologia di sottosuolo invece, sono riportate in bibliografia le seguenti evidenze:

Le rocce granitiche affioranti costituiscono un substrato moderatamente permeabile per fessurazione; le acque meteoriche vengono direttamente raccolte e trattenute all'interno di un fitto sistema di fratture che costituiscono il principale acquifero del settore. La circolazione idrica profonda nelle aree granitiche avviene prevalentemente lungo i sistemi di fratture, che costituiscono anche le vie di alimentazione delle numerose sorgenti diffuse nell'area.

Il complesso idrogeologico profondo è costituito da rocce delle unità intrusive che raggruppano litofacies variabile da gabbriiche a monzogranitiche. Come detto in precedenza le riserve idriche

principali si ritrovano nelle aree maggiormente tettonizzate in corrispondenza di faglie, fratture e contatti tra i diversi corpi plutonici. Una discreta circolazione idrica si riscontra anche nella coltre di arenizzazione, quando assume spessore superiori a 4-5 m, ed è testimoniata dall'esistenza di numerosi pozzi scavati a largo diametro, che attingono da una falda superficiale a pelo libero. Le stesse coltri alimentano modeste sorgenti a carattere stagionale, localizzate al passaggio tra facies argillificate e lapidee.

Un secondo circuito idrico abbastanza comune nei granitoidi della Gallura è rappresentato dagli acquiferi presenti nelle coltri detritiche formatesi sia per processi legati alla tettonica fragile sia per i fenomeni di alterazione della roccia in situ.

3.4 Evidenze da sopralluogo in campo

È stato possibile effettuare delle osservazioni in campo a seguito del sopralluogo condotto in sito nel mese di giugno 2023. In particolare, durante questa attività, si è prestata attenzione a:

- Verifica del contesto geologico-strutturale di sito e analisi dello stato qualitativo delle matrici rocciose e sedimentarie caratterizzanti il sottosuolo e la topografia dell'area
- Verifica di eventuali condizioni di pericolosità/dissesto caratterizzante l'areale

Le osservazioni permettono di trarre considerazioni preliminari del comportamento delle matrici osservate nei confronti delle opere in progetto (strade, opere fondazionali WTG, necessità di opere di sostegno ecc). Tali considerazioni sono riportate nei paragrafi seguenti.

3.4.1 Contesto geologico di sito

Le osservazioni di sito hanno permesso di verificare l'accuratezza delle informazioni disponibili in bibliografia rispetto all'assetto geologico nell'areale in esame, confermando sostanzialmente quanto descritto in precedenza.

Il territorio è dominato dall'affioramento di rocce granitoidi e si sono osservate le morfologie tipiche associate al contesto (Figura 3-2). Le pendenze non risultano elevate se non nel caso della presenza di creste rocciose affioranti, anche a testimonianza dell'estrema erosione che ha subito il territorio.

Le porzioni affioranti di roccia presentano un elevato stato di alterazione con produzione di frequenti depositi arenizzati; lo spessore medio di tali depositi osservabile in tagli stradali e versanti esposti si aggira intorno ad almeno 1,5 metri.

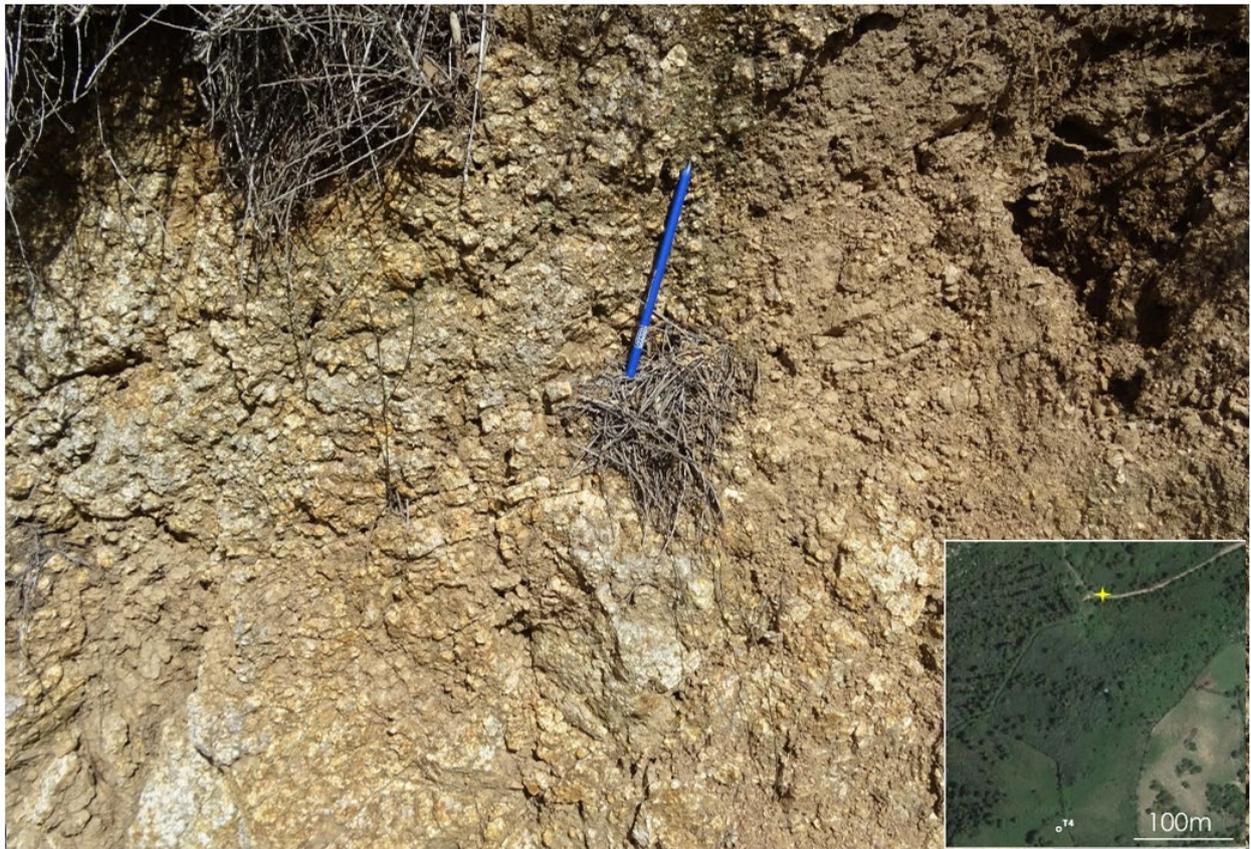


Figura 3-4: condizione di arenizzazione delle rocce granitoidi nei pressi della postazione WTG T4; L'affioramento è ubicato con puntale giallo nella k-map allegata



Figura 3-5: condizione di arenizzazione delle rocce granitoidi nei pressi della postazione WTG T3; L'affioramento è ubicato con puntale giallo nella k-map allegata

3.4.2 Verifica delle pericolosità idro-geologiche

Il territorio in esame risulta pressoché stabile nei confronti delle pericolosità geomorfologiche. Non si sono osservati nei dintorni degli aerogeneratori condizioni di instabilità e pendii e/o impluvi in erosione attiva.

Le portate dei reticoli fluviali osservati presentavano portate di magra a causa delle scarse precipitazioni tipiche del periodo estivo.

4 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, e approvato con decreto del Presidente della Regione Sardegna n. 67 del 10/07/2006, rappresenta un importantissimo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo ai fini della pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico individuato sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio regionale.

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano. Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Nell'area dell'impianto non sono riportate perimetrazioni di pericolo geomorfologico (dissesti) e idraulico, interessanti le ubicazioni degli aerogeneratori.

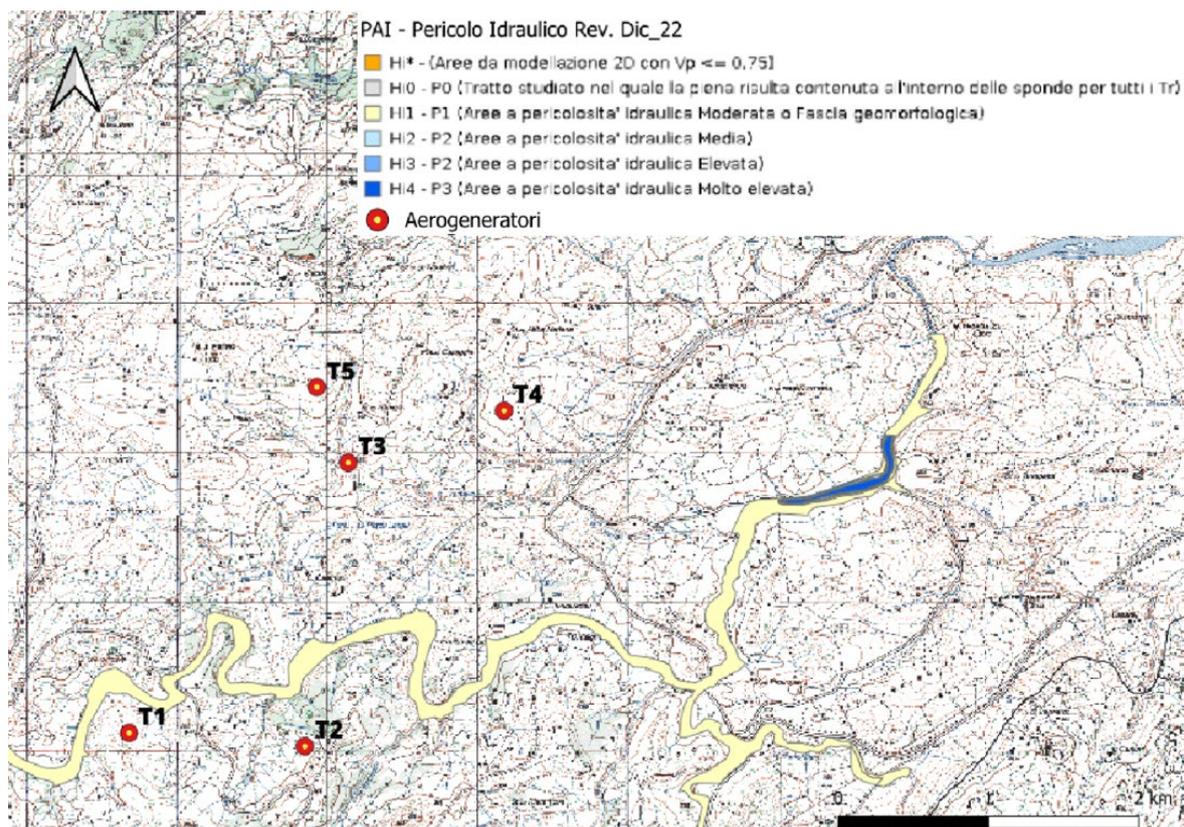


Figura 4-1: Perimetrazioni PAI regione Sardegna - Pericolo Idraulico (fonte Geoportale Regionale)

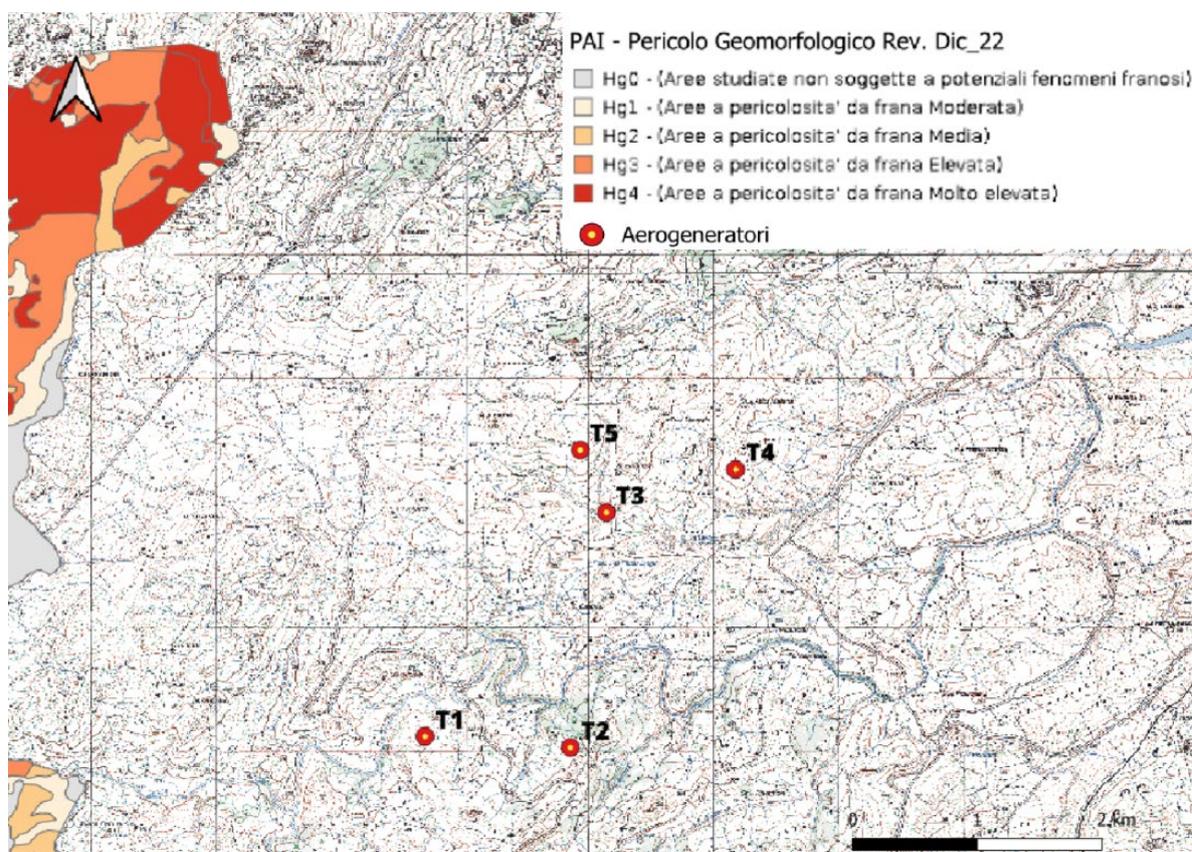


Figura 4-2: Perimetrazioni PAI regione Sardegna - Pericolo Geomorfologico (fonte Geoportale Regionale)

5 INQUADRAMENTO SISMICO

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Originariamente, i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche (Tabella 5-1) sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Tabella 5-1: zone sismiche del territorio nazionale

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	È la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

Di seguito, è riportata la zona sismica per il territorio in studio, secondo la vecchia classificazione fornita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003.

Zona sismica 4	Zona con livello di pericolosità sismica molto basso
a_{gMax} $a_g \leq 0.05$	Accelerazione massima presente all'interno dei territori comunali.

In seguito, per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 5-1)

che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

In particolare, con tale provvedimento è stato possibile superare il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva numerose situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono sempre continue e graduali.

Nello specifico, per le zone di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) risultano minori a $0,05 a_g$ (accelerazione massima del suolo).

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

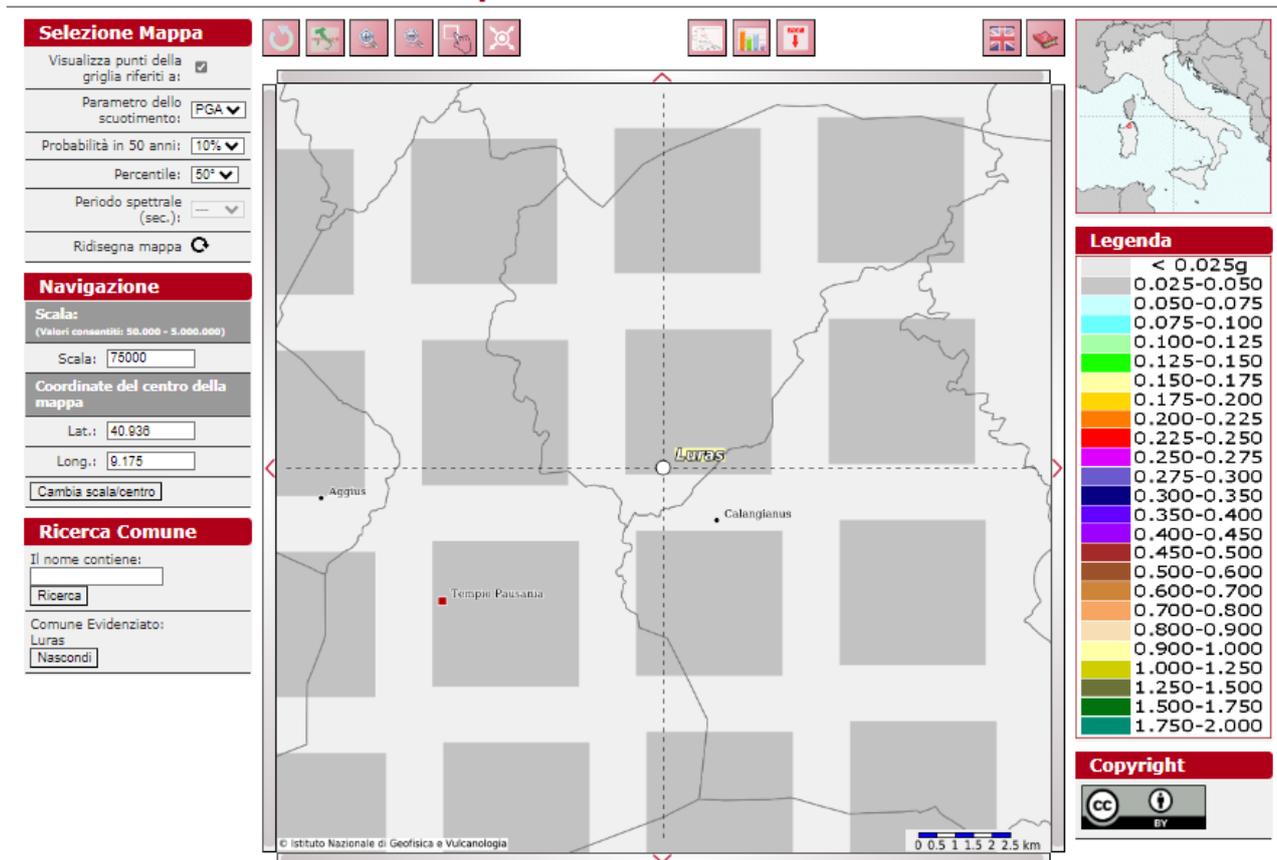


Figura 5-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo a_g sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

5.1 Zone sismogenetiche

Per sorgente sismogenica composta si intende una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogeniche che non possono essere distinte singolarmente. Tali zone sono le principali considerate ad elevato rischio sismico in quanto, essendo caratterizzate dalla presenza di faglie attive, in esse vi è una elevata probabilità che si verifichino terremoti di elevata magnitudo.

L'ubicazione è riportata all'interno del DISS, ovvero il database georeferenziato edito dall'INGV riportante informazioni necessarie ad elaborare la pericolosità sismica di base a livello di pianificazione territoriale.

L'Areale in esame non ricade all'interno di zone sismogenetiche attive; la più vicina è ubicata ad una distanza di più di 100 km a sud dell'isola, denominata DZCS002 "Northern Africa offshore - East" e rappresenta la linea tettonica di collisione tra la placca Africana e Euroasiatica.

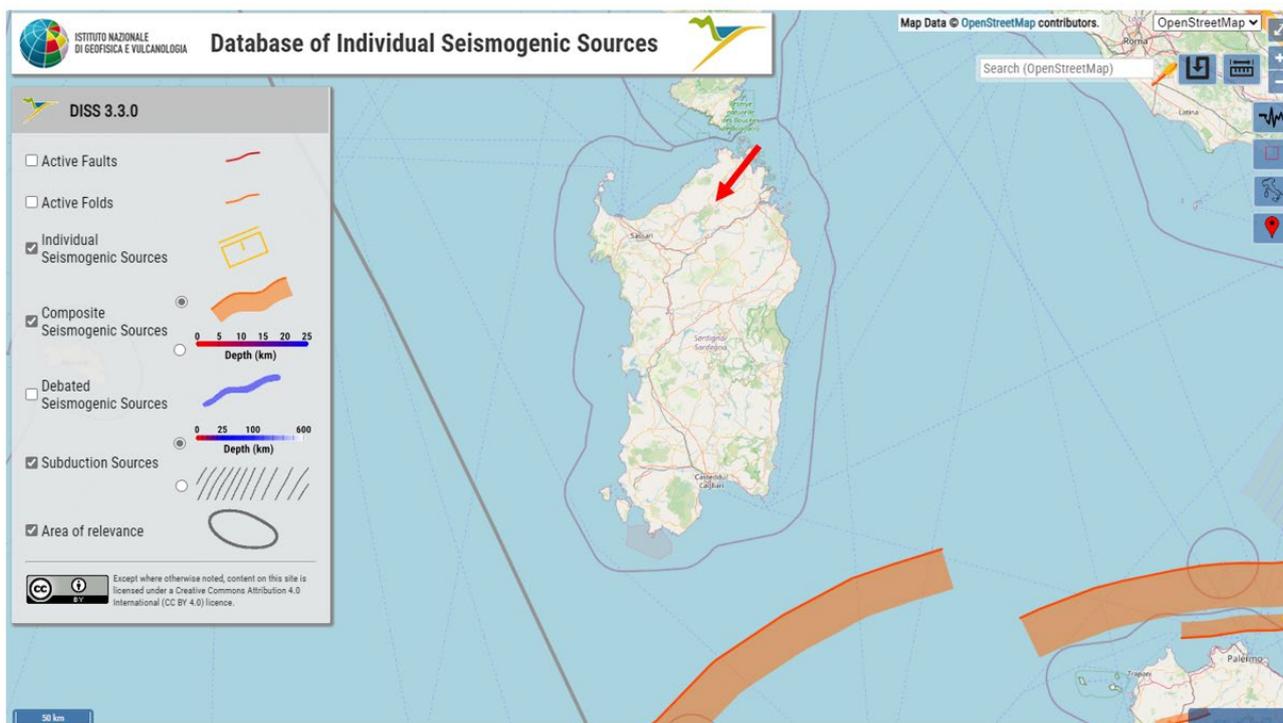


Figura 5-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); la freccia indica l'ubicazione del sito

5.2 Storia Sismica dell'area

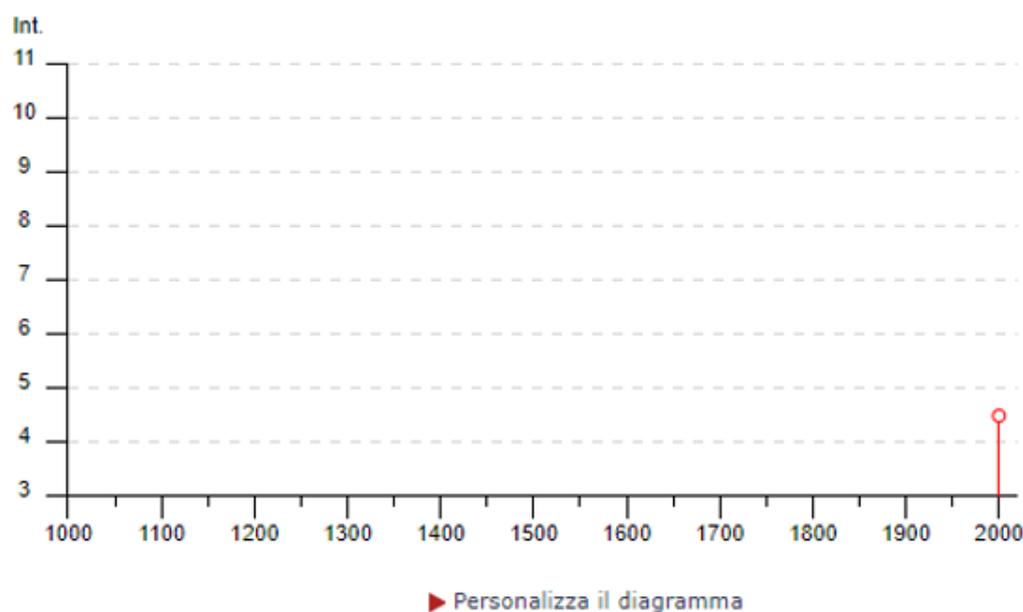
L'area in esame non risulta essere stata storicamente interessata da fenomeni sismici rilevanti; il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTIO4 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale).

Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo (Figura 5-3).

Luras

PlaceID IT_68233
 Coordinate (lat, lon) 40.936, 9.175
 Comune (ISTAT 2015) Luras
 Provincia Olbia-Tempio
 Regione Sardegna
 Numero di eventi riportati 1



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265		4.77

Figura 5-3: Serie storica dei sismi che hanno interessato l'area di studio

5.3 Sismicità dell'area

Di seguito viene fornito un inquadramento generale sulla classificazione sismica dell'area in esame nel rispetto delle disposizioni delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del Decreto Ministeriale del 17/01/2018.

Secondo la normativa vigente la tipologia del suolo di fondazione è dipendente dal valore $V_{s,eq}$ definito dalla seguente equazione:

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le verifiche strutturali nei diversi stati limiti vanno condotte adottando le azioni sismiche che sono funzione della "pericolosità sismica" dell'area in esame. La "pericolosità sismica" è definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.

Le azioni di progetto dovute al sisma si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali definite in funzione dei parametri:

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

Per il presente progetto, i valori di tali parametri sono riportati nella tabella esposta nell'Allegato B del decreto, in quanto i parametri relativi alla Sardegna ed altre isole minori non rientrano all'interno del reticolo di riferimento INGV sul territorio. Utilizzando il software dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M.

5.3.1 Effetti di amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico. Inoltre, per le sezioni e le misurazioni si è preso come riferimento la cartografia disponibile. Per quanto riguarda i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica, questi sono riportati nella successiva tabella:

Tabella 5-2: Categorie di amplificazione topografica - NTC 2018

Categoria Topografica	Ubicazione opera	St
T1 (Sup. Pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$)	-	1.0
T2 (Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$)	Sommità del pendio	1.2
T3 (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra 15° e 30°)	Cresta del rilievo	1.2
T4 (Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $> 30^\circ$)	Cresta del rilievo	1.4

Nel caso specifico, in quanto gli aerogeneratori in progetto sono generalmente posti alla sommità di rilievi, anche se di blanda morfologia; dunque, il valore di riferimento è $St = 1.2$.

5.3.2 Categoria sismica dei terreni

In base al contesto geologico analizzato si può cautelativamente affermare che la categoria sismica dei terreni di fondazione è la seguente:

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

5.3.3 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (V_n):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (C_u):	1.0	
Periodo di riferimento (V_r):	50	[anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLC:	975	[anni]

La Sardegna risulta esterna al reticolo di riferimento normalmente usato per calcolare, per mezzo di una media ponderata, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. Per questo motivo risulta necessario utilizzare i valori tabellati in Allegato B al D.M., con i parametri validi (ritenuti costanti su tutto il territorio) per le isole (con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri).

Tabella 5-3: Parametri di pericolosità sismica per TR, tratti da Allegato B alle NTC 2018 in quanto la Sardegna non è coperta dal reticolo di riferimento

Stato limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.186	2.61	0.273
SLD	50	0.235	2.67	0.296
SLV	475	0.500	2.88	0.340
SLC	975	0.603	2.98	0.372

Dove:

SLO: Stato Limite di Operatività

SLD: Stato Limite di Danno

SLV: Stato Limiti di salvaguardia della Vita

SLC: Stato Limite di Collasso

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

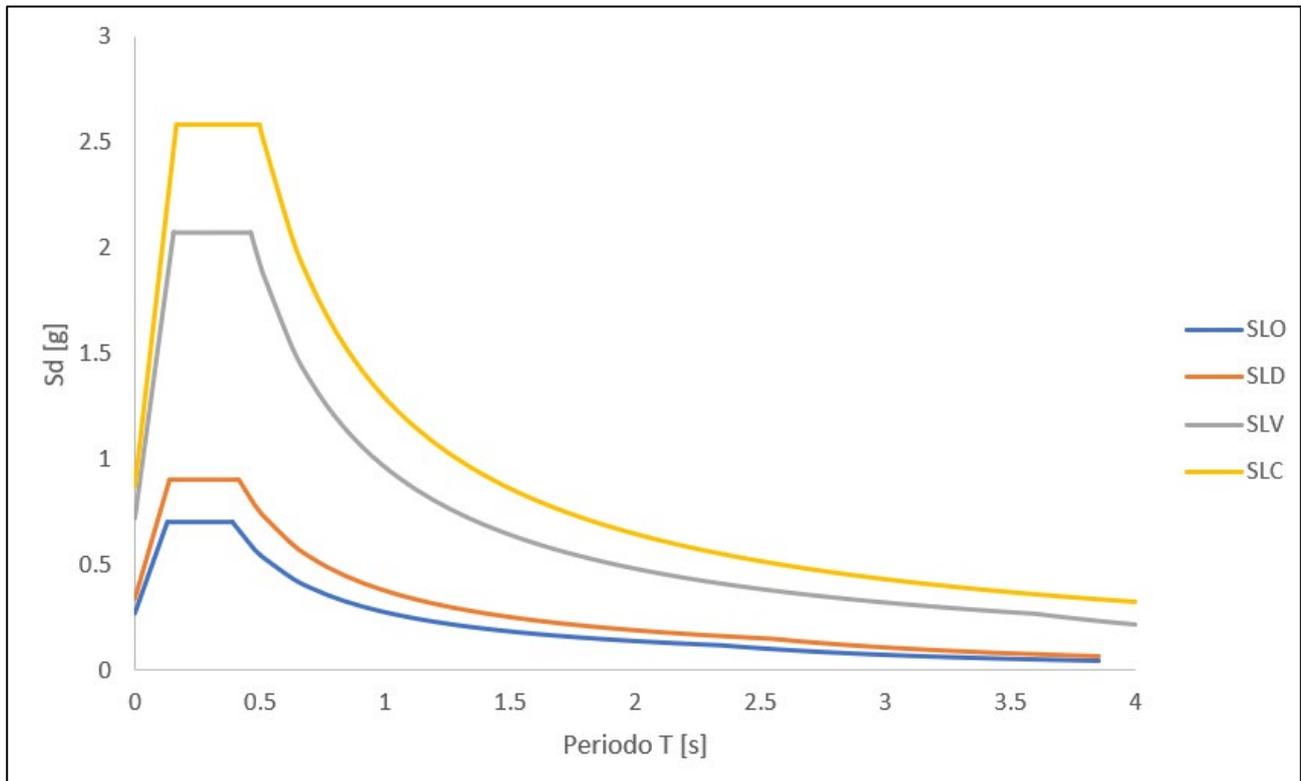
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Tabella 5-4: Stabilità dei pendii e fondazioni NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.054	0.068	0.144	0.174
kv	0.027	0.034	0.072	0.087
a_{max} [m/s ²]	0.268	0.338	0.720	0.868
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.186	2.610	0.273	1.2	1.426	1.2	1.44	1	0.130	0.389	2.344	0.268	0.700
SLD	1.0	0.235	2.670	0.296	1.2	1.403	1.2	1.44	1	0.138	0.415	2.540	0.338	0.902
SLV	1.0	0.500	2.88	0.340	1.2	1.365	1.2	1.44	1	0.155	0.464	3.600	0.720	2.076
SLC	1.0	0.603	2.980	0.372	1.2	1.341	1.2	1.44	1	0.166	0.499	4.012	0.868	2.585

5.4 Verifica a liquefazione dei terreni di fondazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Tuttavia, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1 a_g$;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla normativa NTC 2018 nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

Rispetto a quanto sopra riportato, come definito precedentemente, risulta che l'accelerazione sismica massima attesa a piano campagna in sito è minore di $0,05 g$ mentre l'analisi del contesto geologico di sottosuolo ha portato a definire l'assenza di strati sabbiosi; dunque, è possibile escludere il pericolo associato al fenomeno per almeno 2 delle circostanze previste.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il presente paragrafo riporta la descrizione delle caratteristiche geotecniche riguardante i litotipi affioranti nell'area in esame; la caratterizzazione riguarderà essenzialmente le litologie granitoidi che saranno interessate dalle opere fondazionali.

La caratterizzazione è basata unicamente su dati di bibliografia disponibili in rete e relativa a dati di prove e indagini condotte nelle circostanze delle aree in esame. Si sottolinea che nelle successive e più approfondite fasi di progettazione sarà eseguito un accurato piano di indagine geognostiche, al fine di caratterizzare puntualmente il sottosuolo interessato dalle opere di progetto.

Come riportato al precedente paragrafo 3.1, nell'areale in esame si riscontra la presenza di varie facies di rocce granitoidi. Si presume che il comportamento meccanico delle litologie sia dunque simile, mentre sia invece fortemente condizionato dalle condizioni di fratturazione e alterazione.

La consultazione della bibliografia ha portato a definire che nell'area, tali litotipi si rinvengano nella seguente stratigrafia di riferimento:

- 0 – 5 m da p.c.: copertura in depositi granitici arenizzati, assimilabili a coltri colluviali costituite da sabbie e ghiaie addensate derivanti dalla degradazione dei graniti. Spessore medio rinvenuto < 5 m.
- 5 – 10 m da p.c.: Rocce granitoidi (di vario genere composizionale) fratturati, in particolare per fessurazioni indotte dal raffreddamento del magma
- Oltre 10 m da p.c.: rocce granitoidi compatte / poco fratturate

6.1 Parametri geotecnici di progetto

Di seguito si riporta la stima dei parametri geotecnici di progetto a seguito di consultazione di dati di prove geofisiche di tipo MASW e SRT condotte sulle medesime litologie:

Tabella 6-1: parametri geotecnici di progetto

Litologia	γ_{nat} (KN/m³)	ϕ (°)	C Kpa	E KPa
Depositi arenizzati	21 – 23	30 - 32	20 - 60	35000 - 50000
Matrice Rocciosa Lapidea	25 - 29	40 - 45	100 - 300	300000 - 500000

Dove:

γ nat: Peso di Volume naturale del terreno

ϕ : angolo di attrito del terreno

C: coesione

E: modulo di deformazione di Young

Non si hanno informazioni sito specifiche circa la profondità di soggiacenza di falda; tuttavia, verificando le informazioni di tipo bibliografico e verificando la postazione delle WTG rispetto agli assi di drenaggio torrentizio, si stima che solo in corrispondenza della postazione della WTG T1 la profondità di falda possa rientrare nei 10 m da p.c., mentre per quanto riguarda le posizioni degli altri aerogeneratori si stimano profondità di falda maggiori di 50 m dal p.c., si possono quindi escludere interferenze con eventuali opere fondazionali profonde. Dunque, il progettista potrà considerare l'effetto della forza fornita dalla pressione dell'acqua nel sottosuolo a partire da 10 m da p.c. nel caso della postazione 1.

7 CONCLUSIONI

Dall'analisi del contesto idrogeomorfologico e geotecnico dell'area in esame si può concludere che l'area di interesse è collocata in un settore di affioramento del complesso intrusivo e filoniano tardo-paleozoico; le litologie granitoidi presentano diverse facies mineralogiche, con composizione da monzogranitica a granodioritica a sienitica.

Il contesto geomorfologico dell'area è stabile, non si osservano elementi di pericolosità idrogeologica insistenti sul sito; il reticolo idrografico che solca le aree di impianto è costituito da impluvi e incisioni torrentizie caratterizzate da portate variabili principalmente in occasione di intensi fenomeni di precipitazione, nonostante si sia osservato un buon flusso di base nelle principali aste fluviali, dovuto alla circolazione idrica che caratterizza i graniti fratturati.

Dal punto di vista sismico, rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzato da una pericolosità sismica molto bassa, con un'accelerazione al suolo attesa minore di $0,05 a_g$. A partire dai dati di bibliografia e dalle considerazioni sul contesto geologico dell'area, il sottosuolo risulta essere di categoria sismica B. Si ritiene che la verifica di liquefazione dei terreni possa essere omessa, in quanto l'accelerazione sismica attesa al suolo risulta minore di $0,1 g$.

La stratigrafia dell'area di progetto prevede la presenza di coltri di graniti arenizzati entro i 5 m da p.c., depositi assimilabili per caratteristiche a sabbie e ghiaie addensate, seguiti dall'impostazione del substrato roccioso granitoide fratturato.

Non si osservano criticità legate alla presenza di fenomeni di pericolosità idro-geologica che possano influenzare negativamente le opere in progetto.