

Impianto eolico di Collinas

Progetto definitivo

Oggetto:

COL-21 – Relazione geologica, geomorfologica e sismica

Proponente:



Sorgenia Renewables S.r.l.
Via Algardi 4
Milano (MI)

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	26/05/2023	Prima Emissione	A. SANTAMBROGIO	A. PIAZZA	G. PROSPERI
Fase progetto: Definitivo				Formato elaborato: A4	

Nome File: **COL-21.00- Relazione geologica, geomorfologica, sismica.docx**

Indice

1	PREMESSA	4
1.1	Descrizione del proponente	5
1.2	Contenuti della relazione.....	5
1.3	Bibliografia e Normativa di riferimento	6
2	.INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	12
5	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
6	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – PAI.....	17
7	INQUADRAMENTO SISMICO	19
7.1	Zone sismogenetiche	21
7.2	Storia sismica dell’area	22
7.3	Sismicità dell’area.....	23
7.3.1	Effetti di amplificazione topografica.....	24
7.3.2	Categoria sismica dei terreni	24
7.3.3	Pericolosità sismica di base	25
7.4	Verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione.....	27
8	CONCLUSIONI	29

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto di Collinas	7
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Collinas.....	8
Figura 3-1: schema tettonico della zona del graben campidanese.....	9
Figura 3-2: carta geolitologica scala 1:25000	11
Figura 4-1: stralcio carta idrogeologica foglio 547 "Villacidro" Progetto CARG - ed. ISPRA.....	12
Figura 4-2: Carta delle permeabilità dei litotipi affioranti	13
Figura 5-1: inquadramento geomorfologico	16
Figura 6-1: stralcio cartografia PAI	18
Figura 7-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.	20
Figura 7-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS).....	21
Figura 7-3: Serie storica dei sismi che hanno interessato l'area di studio	22
Figura 7-4: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	26

1 PREMESSA

La società Sorgenia Renewables S.r.l, d'ora in avanti il proponente, intende realizzare un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica nella provincia del Sud Sardegna, in agro del comune di Collinas.

L'impianto sarà costituito da 8 aerogeneratori di potenza unitaria nominale fino a 6 MW, per una potenza installata complessiva fino a 48 MW.

Data la potenza dell'impianto, superiore ai 10.000 kW, il servizio di connessione sarà erogato in alta tensione (AT), ai sensi della Deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 23 luglio 2008 n.99 e s.m.i.

Gli aerogeneratori forniscono energia elettrica in bassa tensione (690V) e sono pertanto dotati di un trasformatore MT/BT ciascuno, alloggiato all'interno dell'aerogeneratore stesso e in grado di elevare la tensione a quella della rete del parco. La rete del parco è costituita da un cavidotto interrato in media tensione (30kV), tramite il quale l'energia elettrica viene convogliata dagli aerogeneratori alla sottostazione elettrica (SSE) di trasformazione AT/MT di proprietà del proponente che sarà collegata in antenna ad una nuova stazione elettrica (SE) di smistamento a 380/150/36 kV della RTN, da inserirsi in modalità entra-esce sulla linea a 380 kV "Ittiri-Selargius" (nel seguito "nuova SE").

Le opere progettuali sono quindi sintetizzate nel seguente elenco:

- parco eolico composto da 8 aerogeneratori, da 6 MW ciascuno, con torre di altezza fino a 125 m e diametro del rotore fino a 170 m, e dalle relative opere civili connesse quali strade di accesso, piazzole e fondazioni;
- impianto di rete, consistente in una nuova SE di smistamento a 380/150/36 kV della RTN da inserirsi in modalità entra-esce sulla futura linea a 380 kV "Ittiri-Selargius";
- impianto di utenza per la connessione alla RTN, consistente nella rete di terra, nella rete di comunicazione in fibra ottica, nel cavidotto in media tensione (30kV) interamente interrato e sviluppato principalmente sotto strade esistenti, nella SSE di trasformazione 150/30 kV di proprietà del Proponente e nell'elettrodotto a 150 kV di collegamento tra la SSE e la nuova SE.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa

alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i..

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 130 GWh/anno (Produzione Media Annuale P50), che consente di risparmiare almeno 24.000 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 64.000 ton/anno di emissioni di CO₂(fonte ISPRA,2020: 493,80 g [CO₂]/kWh).

1.1 Descrizione del proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è Sorgenia Renewables S.r.l., interamente parte del gruppo Sorgenia Spa, uno dei maggiori operatori energetici italiani. Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4'750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400'000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%. Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali Sorgenia Renewables S.r.l., è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

1.2 Contenuti della relazione

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica, geomorfologica e sismica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per la progettazione definitiva dell'impianto eolico ed è finalizzato a fornire una indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici 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.
- Inquadramento e caratterizzazione sismica dei terreni.
- Assetto geomorfologico, idrologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area.

1.3 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 e Note Illustrative allegate alla cartografia del progetto Carg/Ispra alla scala 1:50000, relativa all'area in studio.

2 .INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito in cui sarà ubicato il parco eolico di nuova costruzione è collocato nel comune di Collinas, nella provincia del Sud Sardegna, in Sardegna.

L'impianto eolico di Collinas è localizzato a circa 45 km dal capoluogo, a circa 1,2 km dal centro urbano del comune di Collinas, ed a circa 8 km in direzione nord-ovest dal centro abitato del comune di Sanluri.

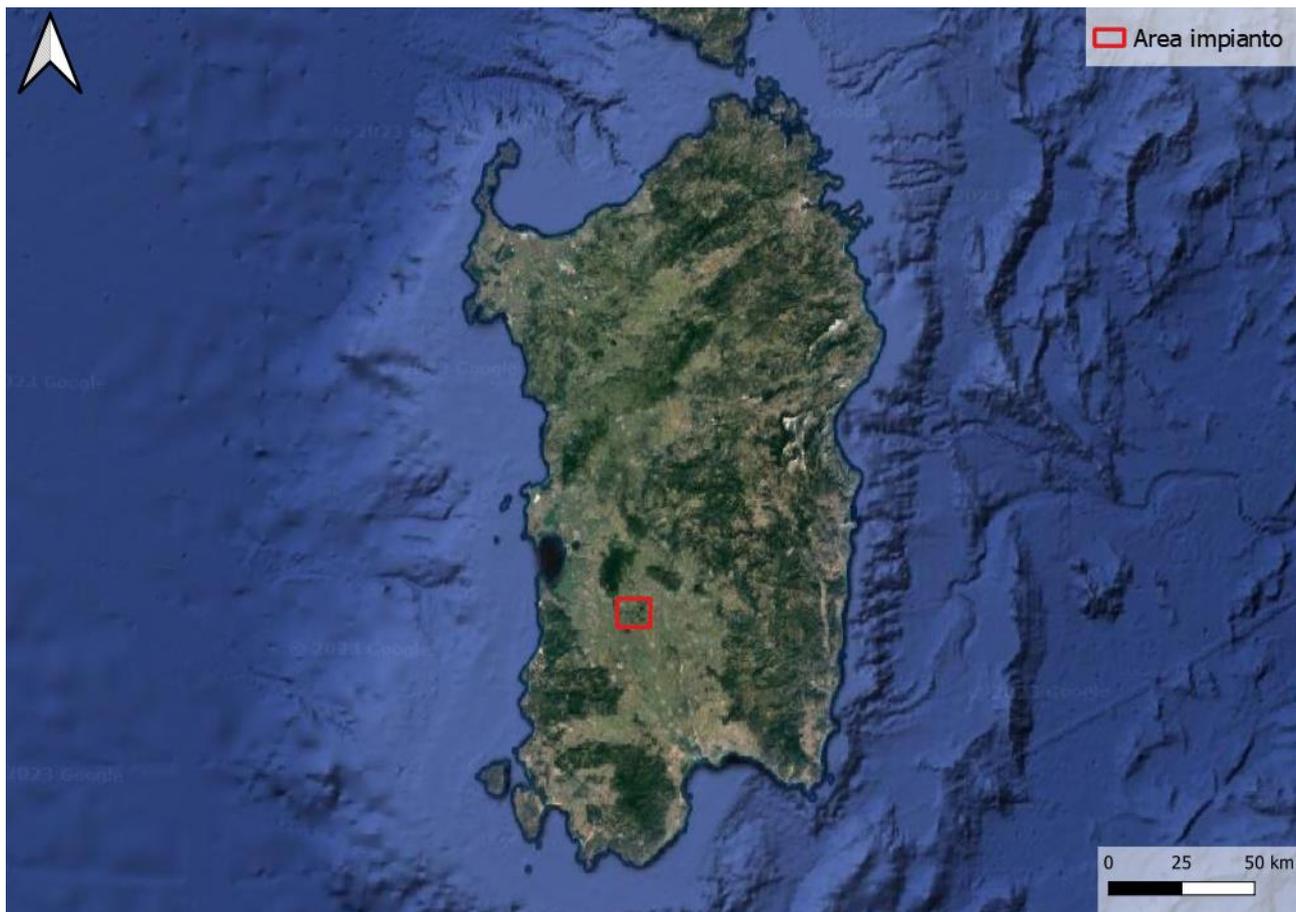


Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto di Collinas

L'impianto eolico di Collinas è situato in una zona prevalentemente collinare non boschiva caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 300 m s.l.m., con sporadiche formazioni di arbusti e la presenza di terreni seminativi/incolti.

Il parco eolico ricade all' interno dei seguenti fogli catastali:

- Fogli 1,4, 7, 9, 10, 22 nel comune di Collinas

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

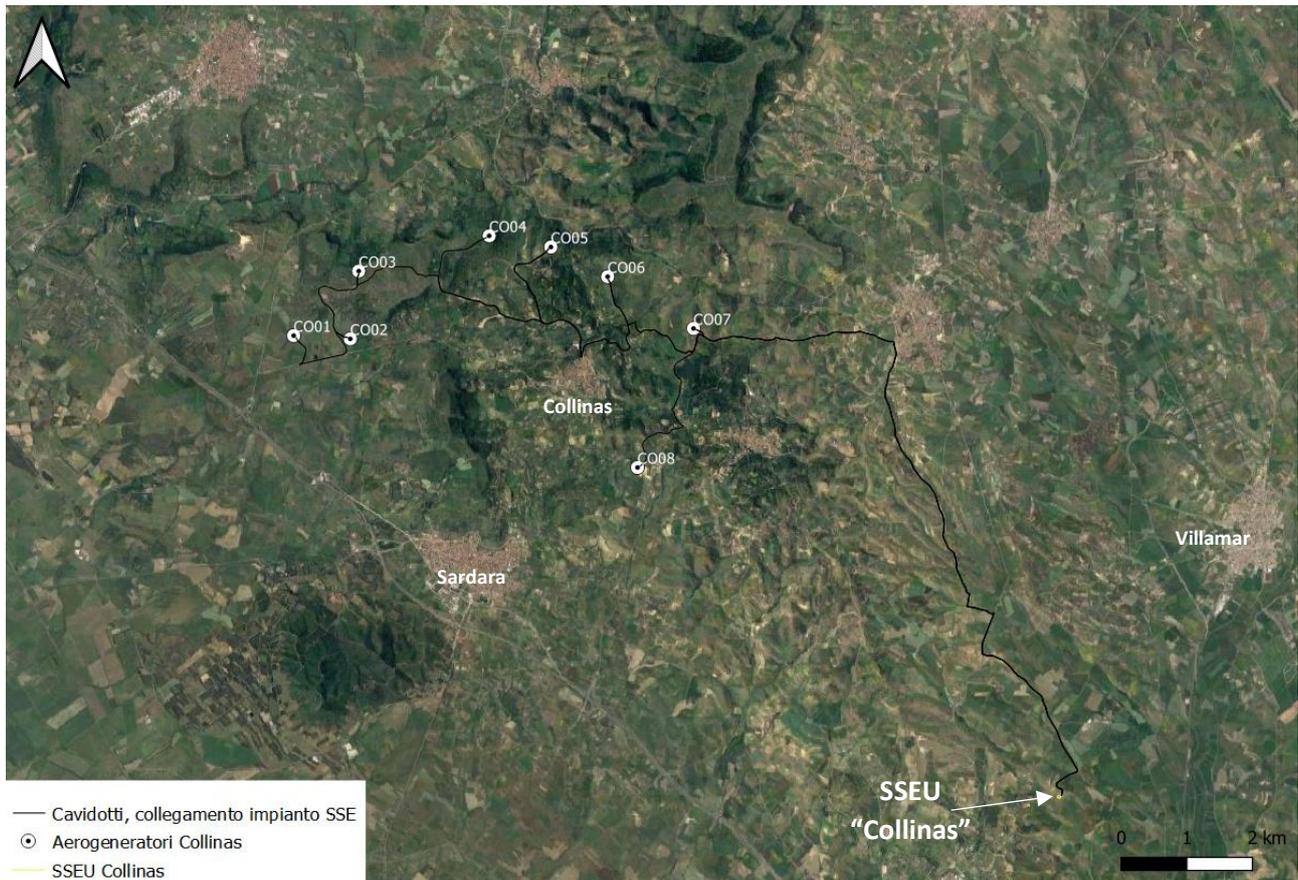


Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto eolico Collinas

Si riporta in formato tabellare un dettaglio sulla localizzazione delle turbine eoliche di nuova costruzione, in coordinate WGS84 UTM fuso 33 N:

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

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]
CO01	Collinas	481841	4388538
CO02	Collinas	482705	4388489
CO03	Collinas	482834	4389529
CO04	Collinas	484824	4390072
CO05	Collinas	485765	4389899
CO06	Collinas	486631	4389443
CO07	Collinas	487941	4388648
CO08	Collinas	487087	4386511

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il sito in esame risulta ubicato ai margini settentrionali di una fossa tettonica, successivamente colmata da un potente spessore di sedimenti formatasi a seguito della fase distensiva plio-quaternaria, responsabile della formazione del Graben Campidanese; si osservano infatti nello schema strutturale sotto riportato (Figura 3-1), uno dei lineamenti tettonici di tipo "normale" associati al graben, orientati in direzione circa Nord/Ovest – Sud/Est.

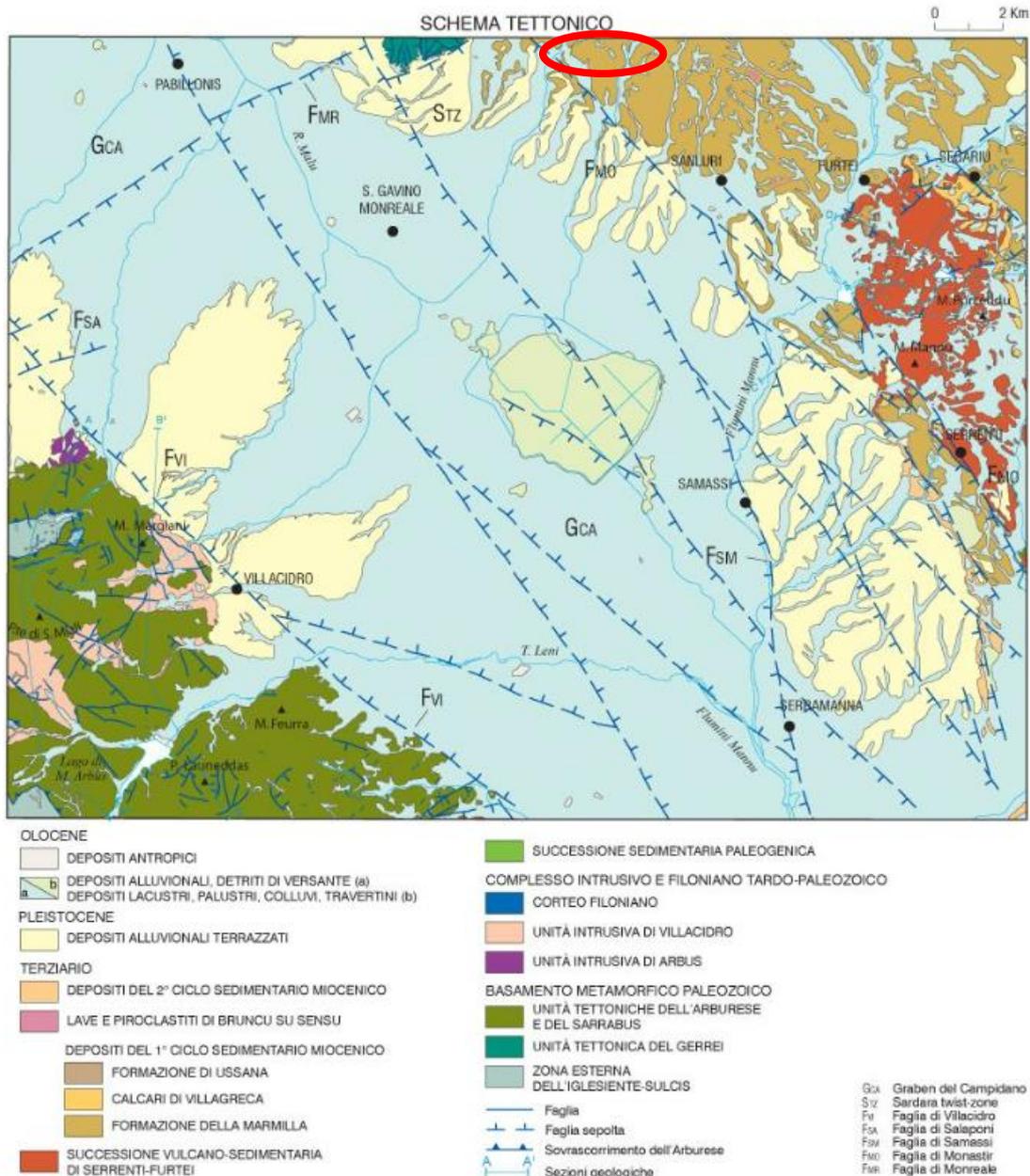


Figura 3-1: schema tettonico della zona del graben campidanese; in rosso l'area in studio

A partire dal Miocene superiore e fino al Pliocene-Pleistocene, tutta l'isola è interessata da un'importante fase distensiva da riferire all'apertura del Tirreno centro-meridionale, la quale favorisce una breve e localizzata (Penisola del Sinis, Campidano di Cagliari e di Oristano, Orosei)

ingressione marina nel Pliocene Inferiore. A questa tettonica distensiva sono da imputare le estese manifestazioni vulcaniche plio-pleistoceniche dell'Isola, prevalentemente basiche e ad affinità alcalina, transizionale e tholeiitica, di età isotopica compresa tra 5,3 e 0,14 Ma, nonché l'impostazione del graben subsidente del Campidano, colmato da potenti depositi detritici continentali plio-pleistocenici (formazione di Samassi).

La quasi totalità degli aerogeneratori risultano ubicati all'interno di una zona in cui affiorano (Figura 3-2):

- La Formazione della Marmilla (RML), nota da tempo come "Complesso marnoso-arenaceo Miocenico del Campidano", in cui prevalgono sedimenti fini costituiti da marne arenaceo-argillose e siltiti, siltiti marnose grigio giallastre, arenarie da medie a fini, distribuiti in alternanze tra il decimetro e il metro. Lo spessore complessivo è di circa qualche centinaio di metri. (Aquitaniense-Burdigaliano inf.)
- Subsintema di Portoscuso: litofacies a sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (Pleistocene sup.)
- Unità di Cuccuru Aspru: Basalti subalcalini generalmente ipocristallini da afirici a porfirici in colate (Pliocene-Pleistocene)

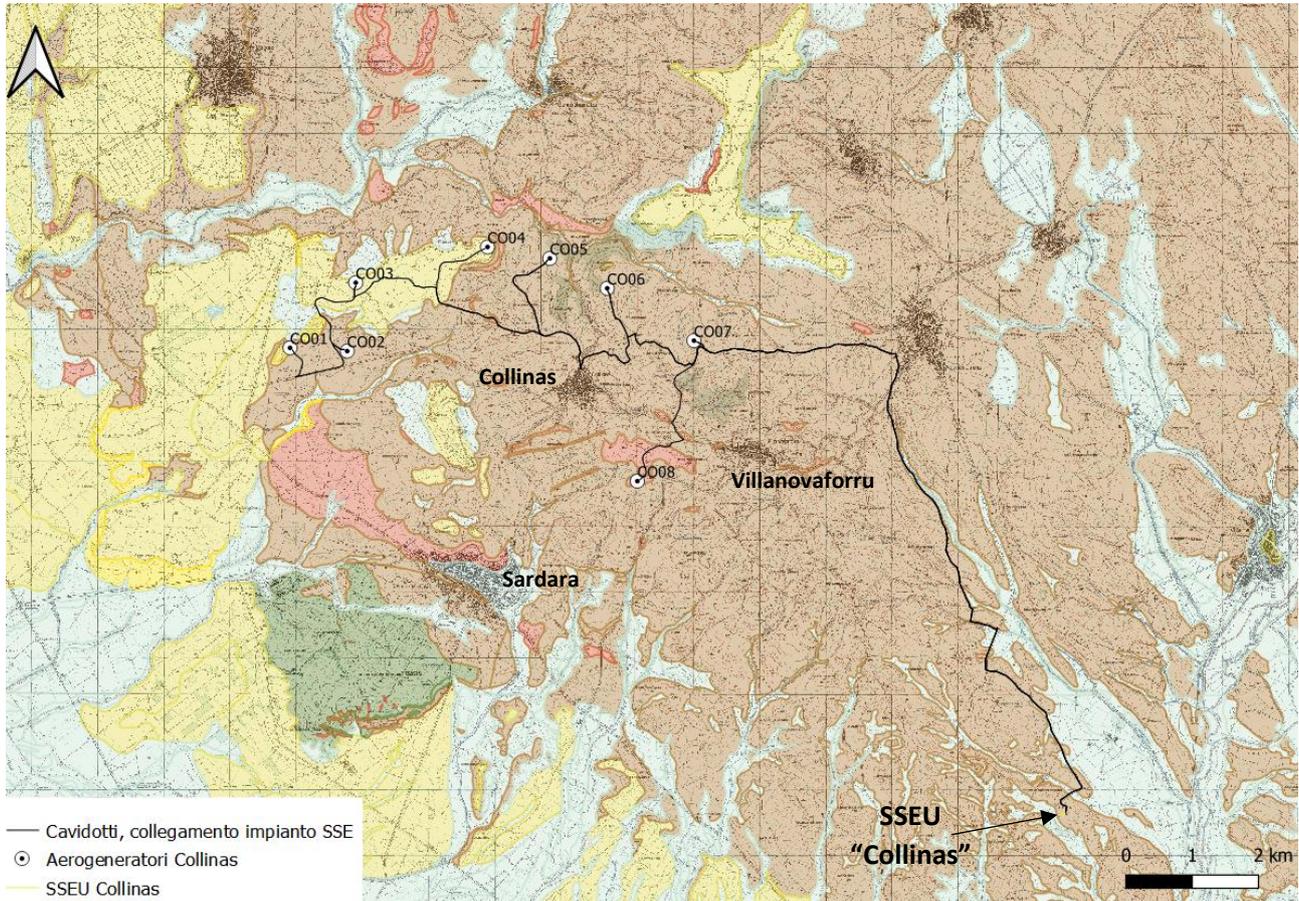
I rilievi collinari a nord dell'abitato di Sardara, nell'area di progetto, presentano una successione della formazione RML disturbata da piccole faglie con rigetti di ordine metrico e immersioni variabili a causa di fenomeni plicativi che hanno modificato la precedente struttura monoclinale. Qui, i depositi marnoso-arenacei risultano infine fittamente incisi e terrazzati dal reticolo idrografico impostatosi in epoca recente, nei cui alvei sono contenuti i depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi quaternari. Frequenti dicchi e intrusioni basaltiche e andesitiche caratterizzano infine la formazione della Marmilla.

Dallo stralcio cartografico sotto riportato si osserva che gli aerogeneratori CO02, CO05, CO06 e CO07 sono impostati sulle formazioni marnose arenacee della Marmilla, mentre CO03, CO04 e CO08 sono impostati su successioni basaltiche; infine, C001 risulta ubicata in una zona di transizione tra le due formazioni.

Infine, risulta che anche la SSEU di impianto risulta ubicata su depositi riconducibili alla formazione della Marmilla, in una località in cui tale formazione viene incisa e terrazzata dal reticolo idrografico. Ne risulta che sia possibile individuare sia le litofacies tipiche della Marmilla, sia i depositi non o poco consolidati delle alluvioni oloceniche (Sabbie con subordinati limi ed argille).

Le stratigrafie ottenute a seguito di perforazione pozzi, ubicati nelle vicinanze dell'area di impianto, confermano che la successione stratigrafica della Marmilla presenta alternanze marnose-argillose-

arenacee con spessore anche di centinaia di metri, mentre le colate basaltiche possono raggiungere anche i 40-50 m di spessore.



- FORMAZIONE DELLA MARMILLA: Marne siltose alternate a livelli arenacei da mediamente grossolani a fini, talvolta con materiale vulcanico rimaneggiato. AQUITANIANO - BURDIGALIANO INF
- UNITÀ DI BRUNCU MOIS: Basalti, andesiti basaltiche ed andesiti da subafiriche a fortemente porfiriche; in colate e cupole di ristagno principalmente di ambiente subacqueo (lave a pillows), OLIGOCENE - MIOCENE
- UNITÀ DI CUCCURU ASPRU: Basalti subalcalini generalmente ipocristallini da afirici a porfirici; in colate. PLIOCENE - PLEISTOCENE
- DEPOSITI DI VERSANTE: Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE

Figura 3-2: carta geolitologica scala 1:25000; geoportale regione Sardegna; con legenda

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Nel Campidano l'acquifero è essenzialmente costituito da una successione sabbioso-conglomeratica intercalata da strati limoso-argillosi, con potenze fino ai 60 m, all'interno della quale si individuano spesso differenti livelli piezometrici. A scala regionale la falda può essere considerata del tipo multistrato, essendo stati accertati i collegamenti verticali e orizzontali tra i vari livelli. La Figura 4-1 mostra i caratteri idrogeologici a piccola scala del territorio; si osserva come all'interno della piana del Campidano esista uno spartiacque nella zona centrale, che divide i drenaggi della falda acquifera in direzione Nord-Ovest lungo l'asse del Rio Malu e verso Sud-Est lungo l'asse del Rio Fiumini Mannu.

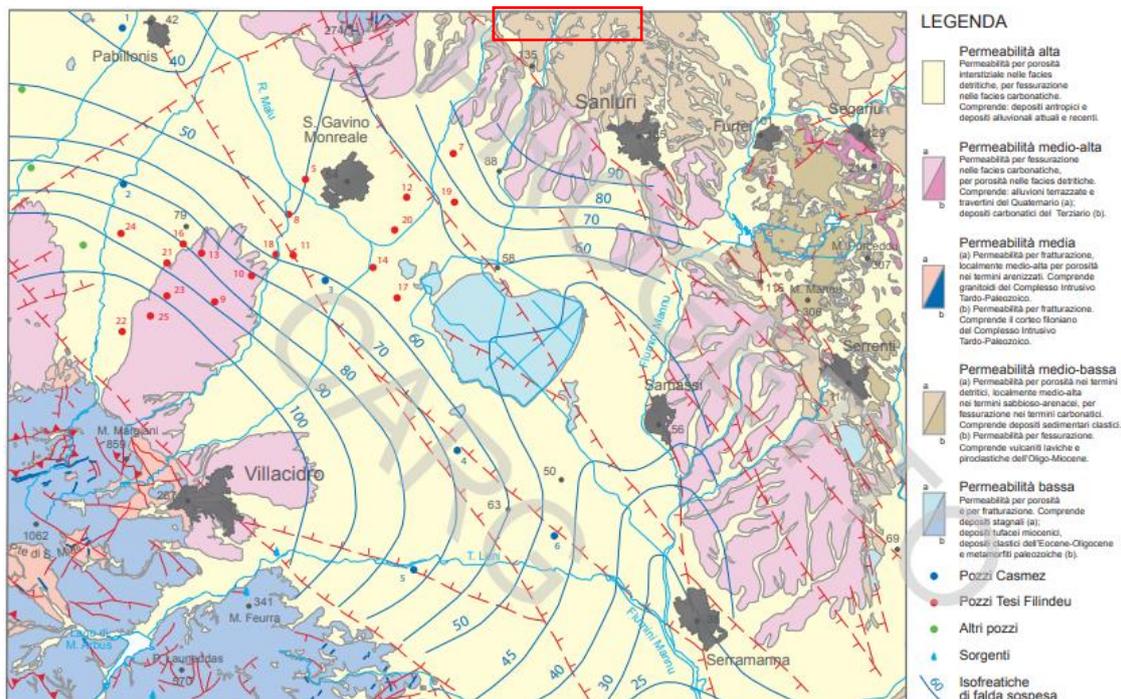


Figura 4-1: stralcio carta idrogeologica foglio 547 "Villacidro" Progetto CARG - ed. ISPRA; In rosso, l'area in studio ubicata a ridosso del margine settentrionale del foglio

A scala del sito si osserva che i litotipi affioranti nell'area sono caratterizzati da bassa permeabilità per porosità (Figura 4-2), per cui bisognerà attendersi una maggiore tendenza allo scorrimento superficiale delle acque meteoritiche rispetto all'infiltrazione.

Si osserva che gli aerogeneratori sono ubicati su alture con assi di drenaggio articolati e diversificati; il comune di Collinas è ubicato circa sulla cresta che fa da spartiacque tra i drenaggi verso sud-sud/ovest verso il campidano, e verso nord-est verso il rio di Benatzu Mannu. La soggiacenza della falda è stata individuata per mezzo dei rilievi statici condotti nei pozzi idrici presi a riferimento, che indicano le seguenti quote (da considerare indicative):

Id pozzo (database ISPRA)	Quota piano campagna (m slm)	Quota falda (m slm)
156446	230	212
195552	350	344
195559	400	341
183093	320	270
156442	270	229
183148	202	187
196898	130	105

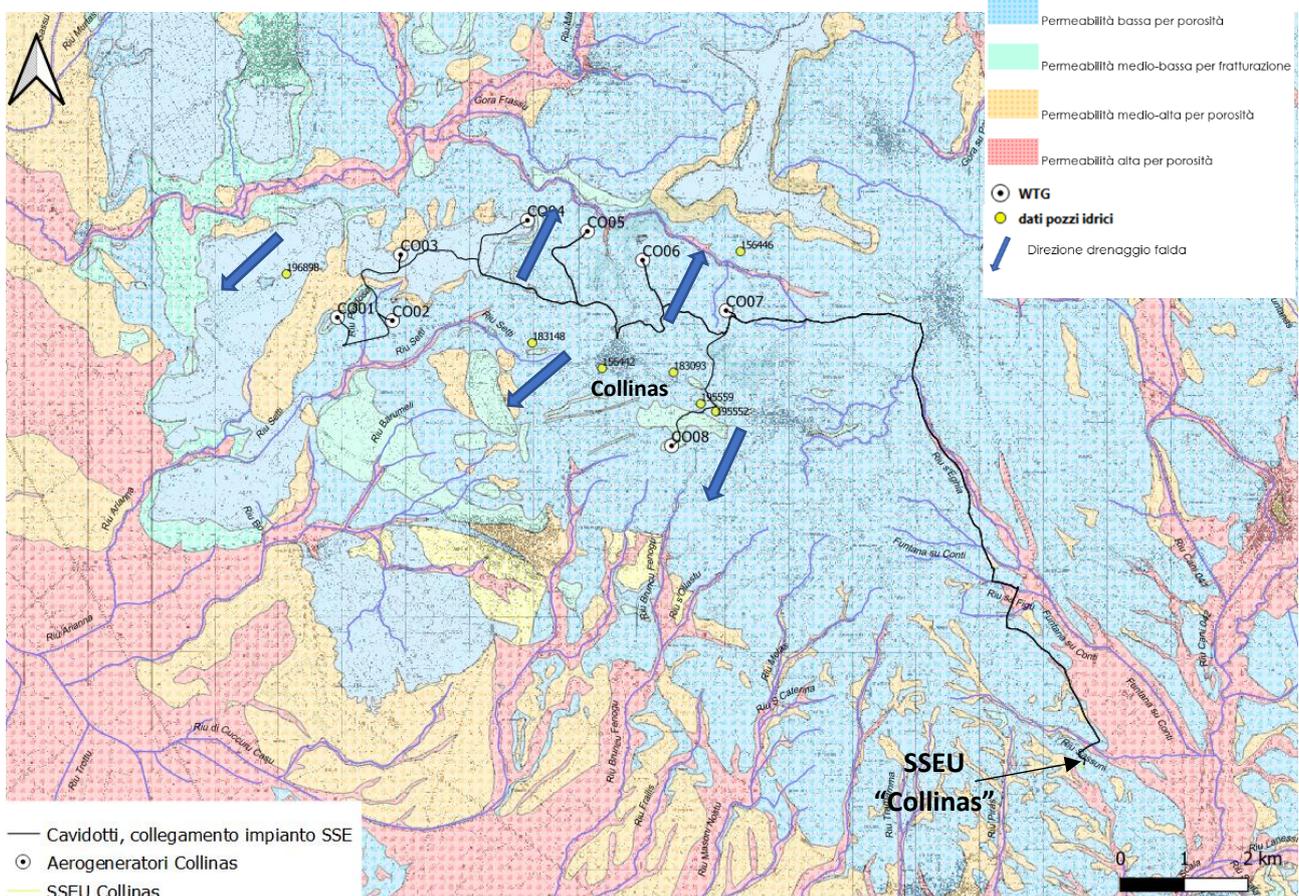


Figura 4-2: Carta delle permeabilità dei litotipi affioranti

Le conoidi che bordano il margine del graben del Campidano a nord di Sanluri, insieme alle successioni di depositi quaternari che lo hanno colmato, presentano invece una buona permeabilità per porosità dimostrando dunque una bassa cementazione dei litotipi. Stessa condizione caratterizza i depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi impostati negli alvei del reticolo fluviale superficiale, che terrazzano, incidendole, le formazioni marnose arenacee della Marmilla; il reticolo idrografico, così

come è stato osservato per l'aspetto idrogeologico delle falde, è influenzato dall'alto idrologico di Collinas che divide i drenaggi verso Sud (affluenti del Flumini Mannu) da quelli a nord (Rio Mogoro). Il reticolo idrografico presenta una media intensità di ramificazione e categorizzazione anche per la naturale tendenza allo scorrimento superficiale causata dalla bassa permeabilità delle litologie marnose e basaltico-andesitiche.

5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La morfologia dell'area in esame è fortemente influenzata dal contesto geo-litologico e strutturale della regione del Campidano, che ha interagito con gli effetti dei cambiamenti climatici quaternari.

Il Campidano è interpretato come un graben la cui formazione viene riferita al Pliocene Medio-Superiore con presenza nel suo sottosuolo di oltre 500 m di sedimenti continentali. Dato che estese conoidi del Pleistocene superiore e dell'Olocene mascherano i bordi del Campidano, non è possibile discriminare quanto dell'attuale forma dei rilievi sia da attribuire a processi di erosione selettiva eventualmente sovrapposti ad attività tettonica. Questo areale, comprendente sia i rilievi collinari vulcanici sia quelli sedimentari oligo-miocenici, presenta versanti di tipo prevalentemente erosivo; risultano infatti modellati a spese dei sedimenti marnosi-arenacei terziari, con morfologie collinari dolci e poco acclivi. Invece, l'area interessata dalle rocce vulcaniche oligo-mioceniche è invece caratterizzata da dossi più elevati e versanti più acclivi. La morfologia dei versanti è quindi condizionata dall'erosione selettiva e dai processi di riesumazione.

Caratteri importanti del territorio, però, sono anche dati dai depositi alluvionali, che appartengono a due grandi cicli morfogenetici, uno più antico Pleistocenico e uno più recente Olocenico. Dai versanti che delimitavano il Campidano, infatti, durante il Pleistocene superiore si sono originate estese conoidi alluvionali coalescenti. La loro morfologia era caratterizzata da una più elevata acclività nei pressi del versante e da una progressiva diminuzione della stessa nella parte distale fino a generare conoidi con profilo concavo. Sulla loro superficie le irregolarità topografiche dovute alla presenza di canali distributori sono state in genere livellate dai processi erosivi. Tutte queste conoidi sono state interessate da importanti processi di incisione che hanno condotto al loro terrazzamento. Le morfologie dei depositi di pianura legati alle dinamiche oloceniche sono state sovente cancellate dagli interventi antropici.



Figura 5-1: inquadramento geomorfologico dell'areale dell'impianto con indicazione del reticolo idrico, delle quote dei rilievi e del tracciato di connessione (in nero) e della SSEU (in giallo)

6 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.

Riguardo al contesto dell'area in esame, osservabile in Figura 6-1 riportante le aree di pericolo da frana e da alluvione, risulta che la cartografia disponibile non copre in maniera adeguata ed uniforme l'areale in studio. Deriva dunque il problema di identificare i caratteri di pericolosità eventualmente insistenti sul sito, in maniera tale da verificare anche le eventuali disposizioni riportate nelle Norme Tecniche di Attuazione del piano (NTA). Incrociando lo studio dei rapporti geologici e delle evidenze di pericolosità con le osservazioni della topografia da ortofoto, si evidenziano le seguenti considerazioni:

- Il territorio risulta caratterizzato da un livello di pericolosità geomorfologica medio – moderato
- Gli altipiani basaltici espongono i propri versanti ad un livello di vulnerabilità elevato per lo più a causa di fenomeno di crollo

- Il resto del territorio, caratterizzato da litologia marnoso-argillosa, presenta frequenti evidenze di colamento per lo più interessanti gli strati superficiali e principalmente concentrati nelle aree di impluvio.
- Il pendio subito a valle di CO03 è caratterizzato da un fenomeno di dissesto di tipo complesso, cioè caratterizzato da diverse cinematiche di frana
- Il tracciato delle opere di connessione non interessa aree sottoposte a vulnerabilità idraulica
- La SSEU non è interessata da fenomeni di pericolosità

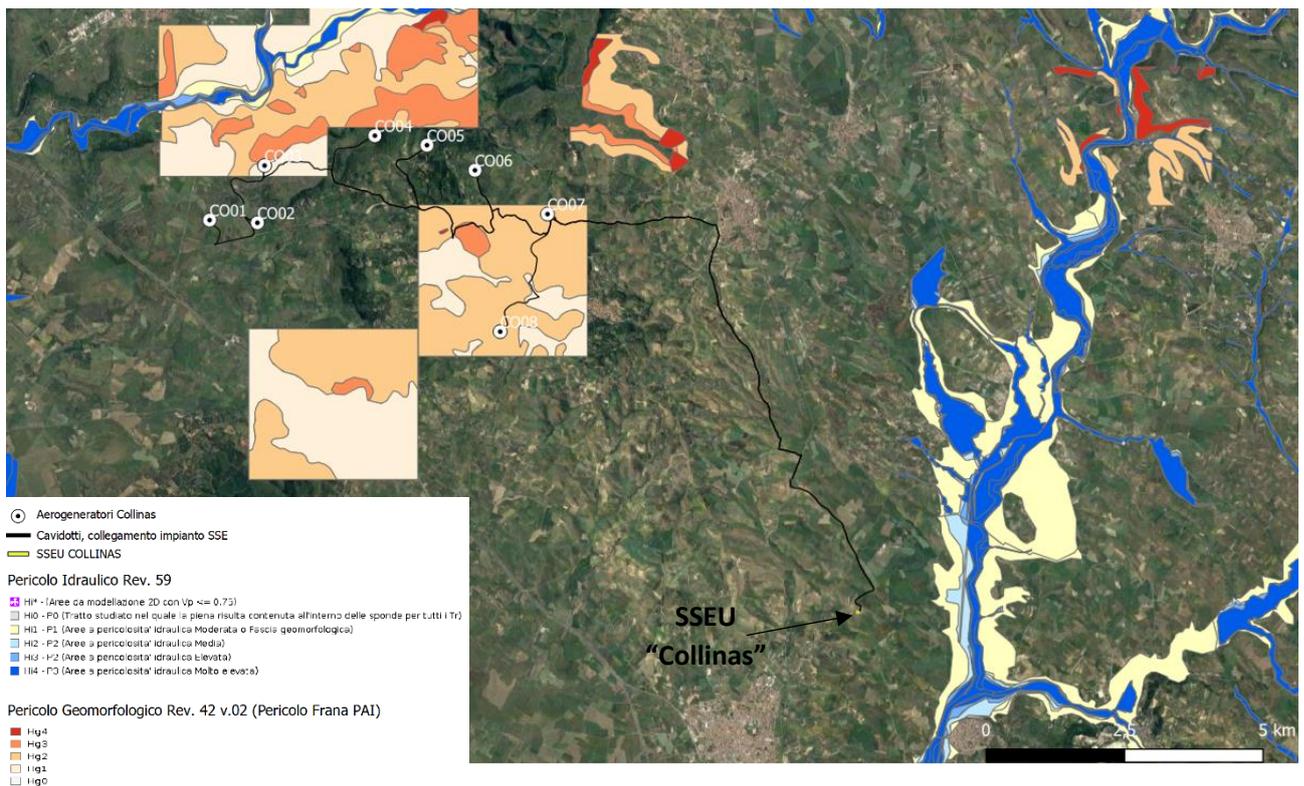


Figura 6-1: stralcio cartografia PAI, estrazione da Geoportale Regione Sardegna, indicante le aree sottoposte a pericolo

Si segnala infine che in fase esecutiva verranno condotti gli studi necessari a valutare la stabilità delle aree e che per mezzo degli appropriati accorgimenti i rischi individuati saranno in ogni caso mitigati.

7 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.

In Tabella 7-1 è riportata la zona sismica per il territorio in studio, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003.

Tabella 7-1: zona sismica area di studio

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.

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 7-2) 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 7-2: 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.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ 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.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.982

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. 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 7-1). Tale studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

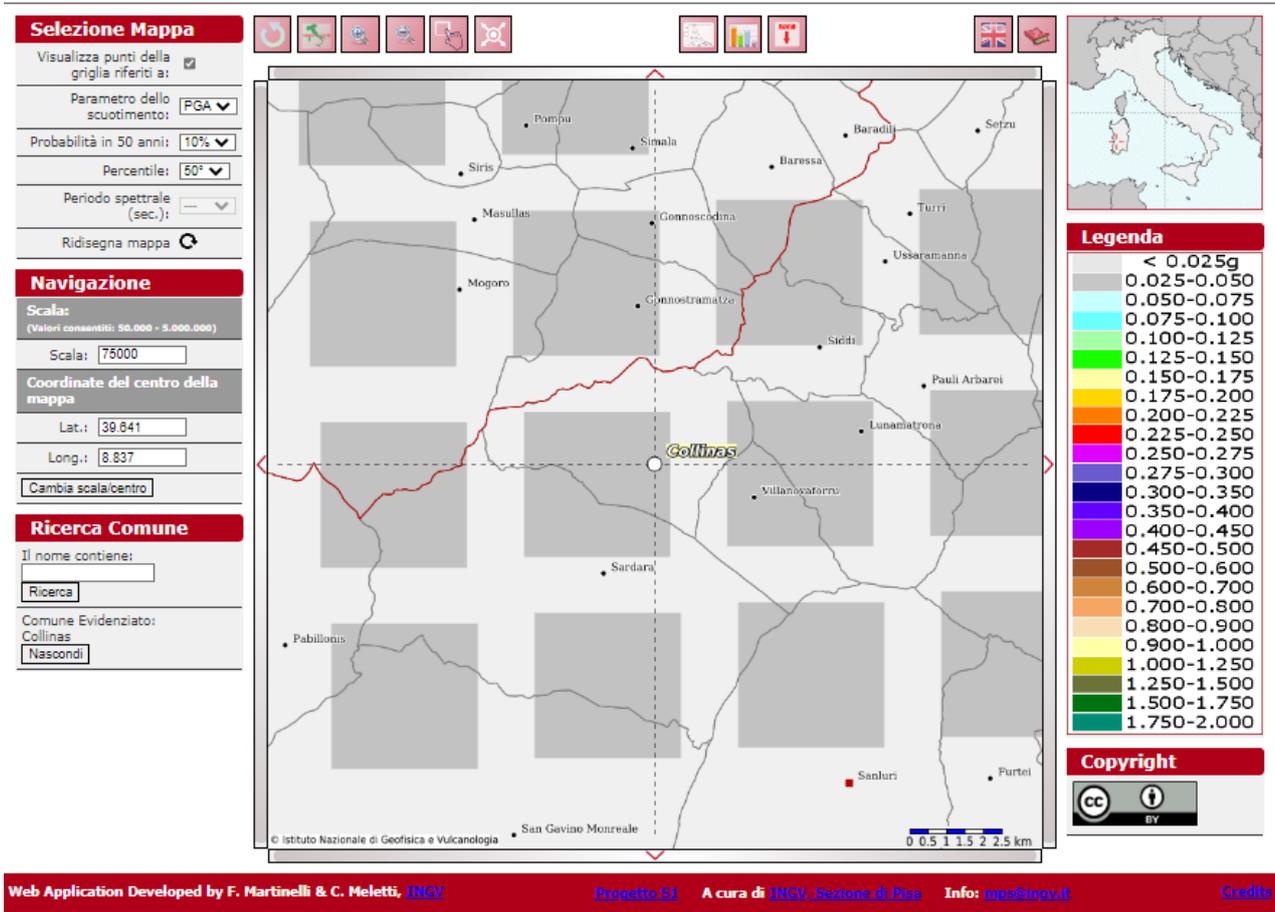


Figura 7-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

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, stimata sulla base di quattro zone sismiche fondamentali. 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.

Successivamente verrà mantenuta la classificazione del territorio nazionale in quattro differenti classi sismiche. All'attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l'applicazione WebGIS, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica.

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 ag (accelerazione massima del suolo).

7.1 Zone sismogenetiche

Per sorgente sismogenica composita 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.

Da un punto di vista sismogenetico, l'area in esame non ricade all'interno di fasce sismogenetiche attive; la fascia più prossima al sito risulta distante circa 150 Km, come osservabile nel seguente estratto cartografico del progetto DISS riportato in Figura 7-2.

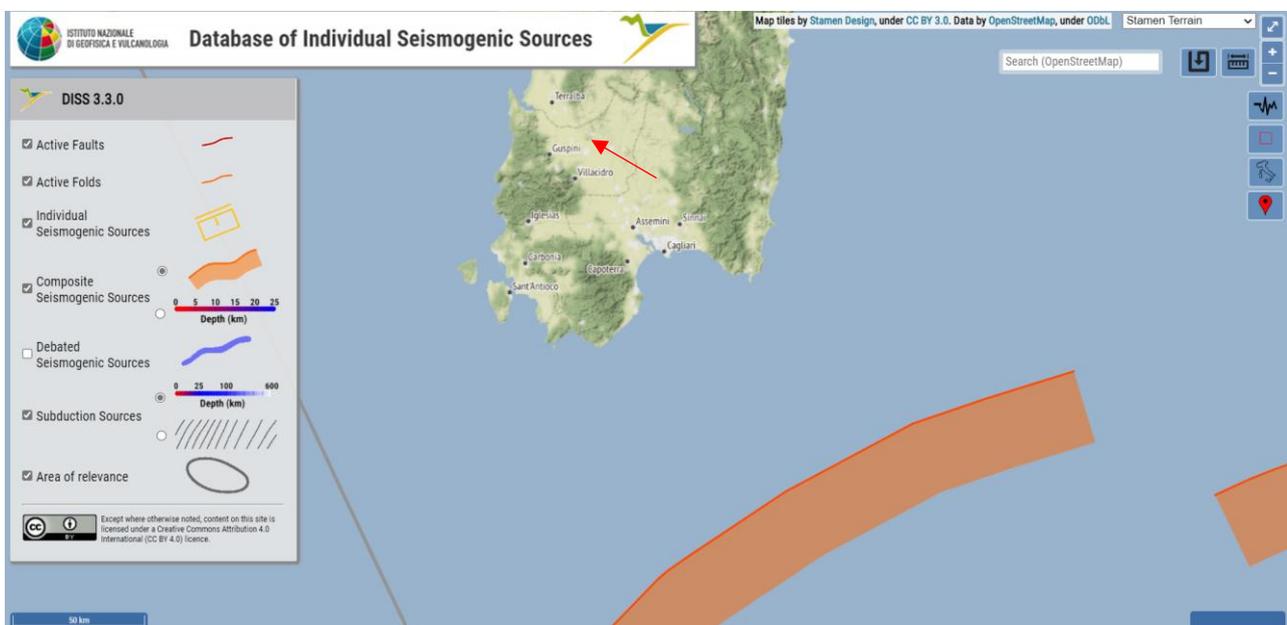


Figura 7-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); la freccia indica l'ubicazione del sito

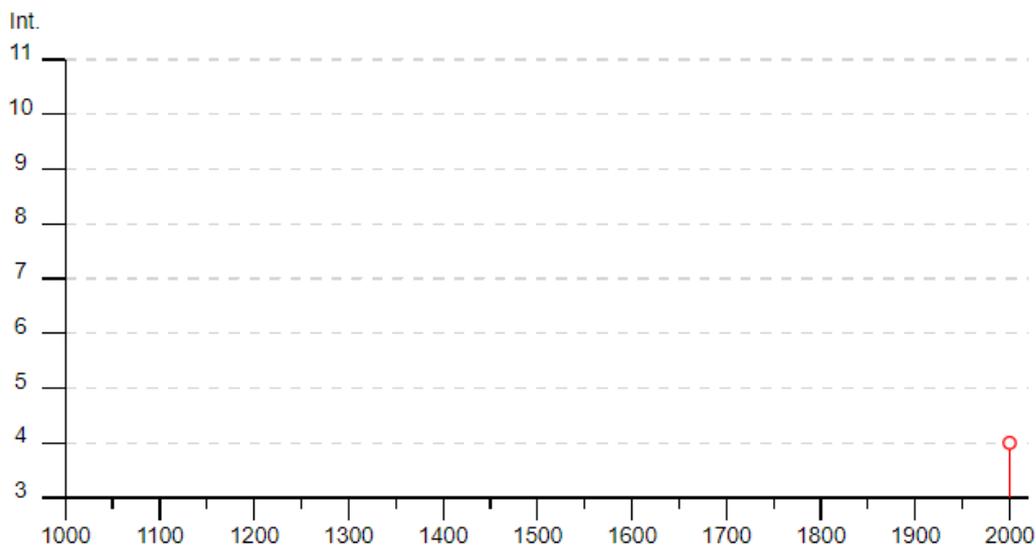
7.2 Storia sismica dell'area

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. Nel grafico sotto riportato si può osservare come, l'unico dato relativo a terremoti di rilevanza sia quello registrato nell'Aprile 2000 nel Tirreno centrale.

Collinas

PlaceID IT_68683
 Coordinate (lat, lon) 39.641, 8.840
 Comune (ISTAT 2015) Collinas
 Provincia Medio Campidano
 Regione Sardegna
 Numero di eventi riportati 1



► Personalizza il diagramma

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

Figura 7-3: Serie storica dei sismi che hanno interessato l'area di studio

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 molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

7.3 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.

7.3.1 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 7-3: Categorie 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 posti alla sommità di rilievi, il valore di riferimento è $St = 1.2$.

7.3.2 Categoria sismica dei terreni

Nel mese di Aprile 2023, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche in sito che ha previsto l'esecuzione di n. 4 prove geofisiche MASW; le prove hanno restituito i seguenti valori di V_{seq} :

Tabella 7-4: V_{seq} definite per mezzo di prove geofisiche MASW

Id PROVA	$V_{s eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
1	686	B
2	986	A
3	975	A
4	962	A

In funzione delle risultanze ottenute è stato dunque possibile individuare la seguente classificazione di sottosuolo (così come indicato dalla normativa in vigore NTC 2018), valutata come la più cautelativa:

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.

Per i dettagli tecnici riguardo alle metodologie di prova ed elaborazioni si rimanda alla "Relazione Geotecnica" – doc. ref. "COL-22.01".

7.3.3 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1.0

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) 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 ag , $F0$, Tc 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).

Punto d'indagine

Tabella 7-5: Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, tratti da Allegato B alle NTC 2018 in quanto la Sardegna non è coperta dal reticolo di riferimento

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [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

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: T3

Tabella 7-6: 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
amax [m/s ²]	0.268	0.338	0.720	0.868
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

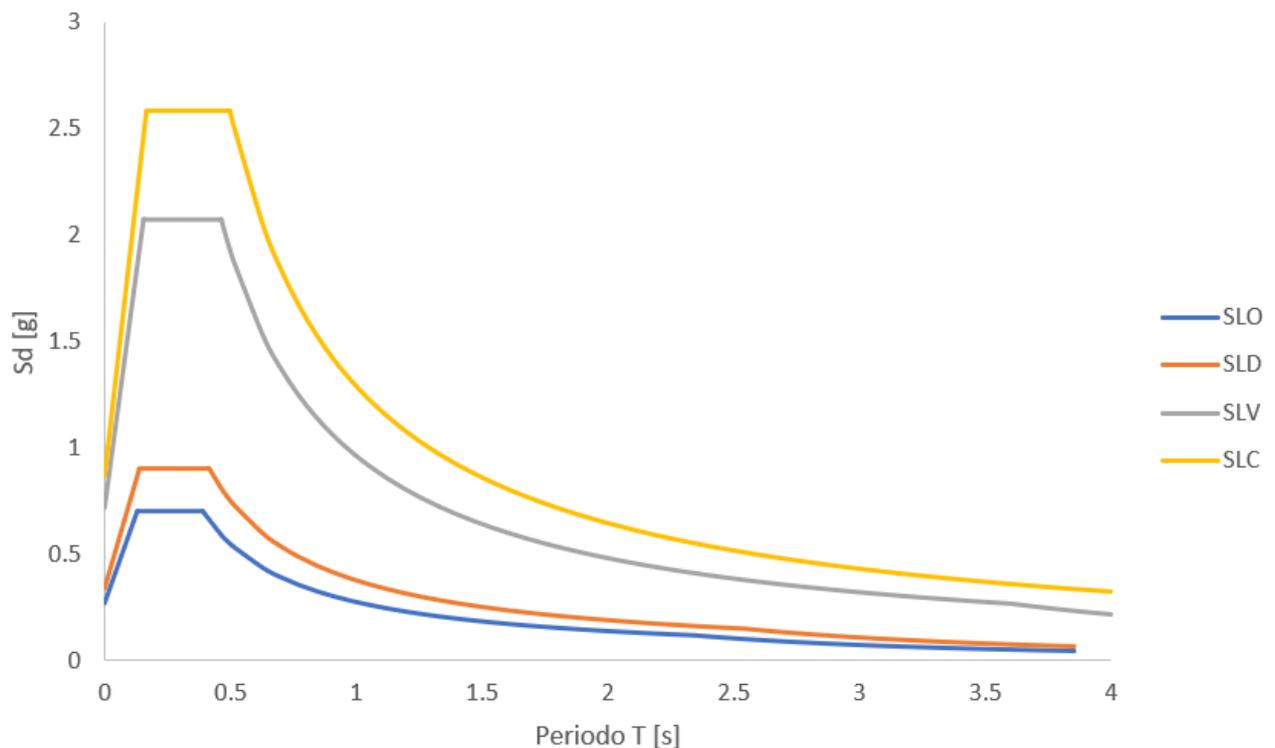


Figura 7-4: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali – Spettro di Progetto

	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	0.388	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
-----	-----	-------	-------	-------	-----	-------	-----	------	---	-------	-------	-------	-------	-------

7.4 Verifica alla 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:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. 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;
4. 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 al precedente capitolo 7, risulta che l'accelerazione sismica massima attesa a piano campagna in sito è minore di 0,05g dunque si esclude il pericolo associato al fenomeno.

8 CONCLUSIONI

L'analisi del contesto idrogeomorfologico e geotecnico dell'area in esame ha permesso di trarre le seguenti considerazioni:

L'area di impianto risulta caratterizzata da litologie riconducibili ad un complesso marnoso-arenaceo Miocenico, in cui prevalgono sedimenti fini costituiti da marne arenaceo-argillose e siltiti, e a effusioni laviche basaltiche.

Il territorio in cui si inseriscono le infrastrutture presenta un reticolo idrico superficiale ramificato, a causa della prevalente componente di deflusso superficiale, rispetto all'infiltrazione, in funzione delle caratteristiche delle formazioni marnose. Tuttavia, gli aerogeneratori in progetto non risultano interferenti con alvei fluviali. Il territorio risulta caratterizzato da un livello di pericolosità geomorfologica medio – moderato, tuttavia si segnala che in fase esecutiva verranno eseguite specifiche valutazioni per la verifica di stabilità dei versanti e, se necessario, saranno realizzati appositi interventi di stabilizzazione e messa in sicurezza dell'area di progetto.

Dal punto di vista sismico rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzata da una pericolosità sismica molto bassa, con un'accelerazione al suolo attesa minore di 0,05 ag/g. La categoria sismica di sottosuolo, verificata per mezzo dell'esecuzione di indagini geofisiche in sito, risulta essere la categoria B. La verifica di liquefazione dei terreni può essere omessa in quanto l'accelerazione sismica attesa al suolo è minore di 0,1 g.