

Comune di: BERCHIDDA

Provincia di: SASSARI

Regione: SARDEGNA



Provincia di Sassari



Regione Autonoma
della Sardegna



PROPONENTE



OPERA

PROGETTO IMPIANTO EOLICO DI BERCHIDDA

OGGETTO

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

DATA: GIUGNO 2023

N°/CODICE ELABORATO

SCALA:

SA_R3

Folder:

Tipologia: R

Lingua: ITALIANO

N° REVISIONE

DATA

OGGETTO DELLA REVISIONE

ELABORAZIONE. D. PISU



Regione Autonoma della Sardegna



PROVINCIA DI SASSARI



COMUNE DI BERCHIDDA



IVPC POWER



PROGETTO DEFINITIVO

PARCO EOLICO "BERCHIDDA"

RELAZIONE
GEOLOGICA

AI SENSI DEI DD.MM. 11/03/1988 e 14/01/2018



PREMESSA e LAVORI IN PROGETTO

Il presente studio è stato elaborato su incarico della società IVPC Power 8. nell'ambito della progettazione dei lavori necessari per realizzazione di un parco eolico nell'agro di Berchidda, in provincia di Sassari, che sarà composto da cinque aerogeneratori, ed ha lo scopo di definire le caratteristiche generali dell'area in cui andrà posto in essere l'intervento, definendone la fattibilità dal punto di vista geologico, individuando eventuali criticità e, nel caso queste assumessero valenza rilevante, indicare e proporre eventuali misure di compensazione e di mitigazione al fine di consentire l'attuazione dell'opera conservando il massimo livello di sicurezza, per la stessa e per l'ambiente circostante.

Lo studio si è basato sia sulle conoscenze derivanti dalla bibliografia geologica generale, sia da quanto acquisito dallo scrivente in precedenti interventi seguiti nella zona limitrofa, sia ancora e soprattutto, sulla base dei risultati di una serie di rilevamenti diretti in sito.

La particolare connotazione geolitostratigrafica e geomorfologica del settore, estremamente chiara ed evidente anche da esami e rilevamenti di superficie, ha consentito di omettere la realizzazione di alcuna specifica indagine geognostica di approfondimento.

I lavori in progetto sono rappresentati dalla installazione di cinque torri eoliche che avranno un'altezza massima all'estremità delle pale, di circa 150 metri, con diametro del rotore di circa 136 metri e altezza dell'asse di rotazione di circa 105 metri.

Ogni torre sarà fornita di un basamento di collegamento a terra da realizzare come plinto in calcestruzzo armato, che sarà posato direttamente sul terreno di appoggio, e ad esso solidarizzato attraverso una serie di tiranti o di micropali, qualora le azioni sul terreno di sedime lo rendessero necessario.

Sono anche previsti la posa dei cavidotti di connessione di ogni singolo generatore alle apparecchiature di controllo e di connessione alla rete di Trasmissione Nazionale del Gestore dei Servizi Elettrici, nonché la realizzazione di alcune tratte di viabilità di collegamento tra quella pubblica già esistente e ogni piazzola di sedime delle singole torri.

Le interazioni maggiori tra terreno ed opere proposte, pertanto, saranno quelle determinate dalle tensioni generate da ciascun aerogeneratore in condizioni statiche, con la propria massa e con i momenti dovuto alle azioni del vento sulla struttura, ed in condizione dinamica, in cui si aggiungono le forze determinate dalla rotazione delle pale e delle parti mobili dei macchinari interni alla navicella, quali i moltiplicatori di giri, i sistemi di raffreddamento e le apparecchiature di produzione dei flussi elettrici.



NORMATIVA DI RIFERIMENTO

*Lo studio è stato elaborato nell'osservanza della normativa vigente, con particolare riferimento a quanto posto dal D.M. 11.03.1988, (e relative Circolari Ministeriali) - **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** - oltre che dalle sue integrazioni e modificazioni, ma anche dalla più recente Circolare Min. LL.PP. n° 218/24/3 del 9.1.1996, che impongono appropriati studi geologici e geotecnici atti a verificare la stabilità della singola struttura in progetto e del complesso terreno – opera.*

Riferimento è fatto anche alle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, già D.M. 14-01-2018, soprattutto per quanto attiene alla classificazione sismica dei terreni, ma soprattutto alla legge n° 64 del 2 febbraio 1974, che definisce particolari provvedimenti per le costruzioni che ricadono in zone sismiche o in territori comunali o loro parti, nei quali siano intervenuti od intervengano lo Stato o la regione per opere di consolidamento di abitato ai sensi della legge 9-7-1908, n. 445, e successive modificazioni ed integrazioni.

Lo studio è stato elaborato anche ai sensi del Dlgs 152/2006, anche noto con il termine di “Codice Ambiente”, che disciplina in maniera particolare la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche.

Poichè il sedime ricade, sulla base degli strumenti documentali disponibili, in area con pericolosità per frana inferiore a quella della classe Hg2 ed è esclusa da quelle con pericolosità idraulica, non è indispensabile estendere lo studio come compatibilità secondo le prescrizioni delle N.d.A. dello stesso P.A.I..

Per raggiungere un adeguato dettaglio del quadro conoscitivo, i problemi più significativi esaminati sono stati:

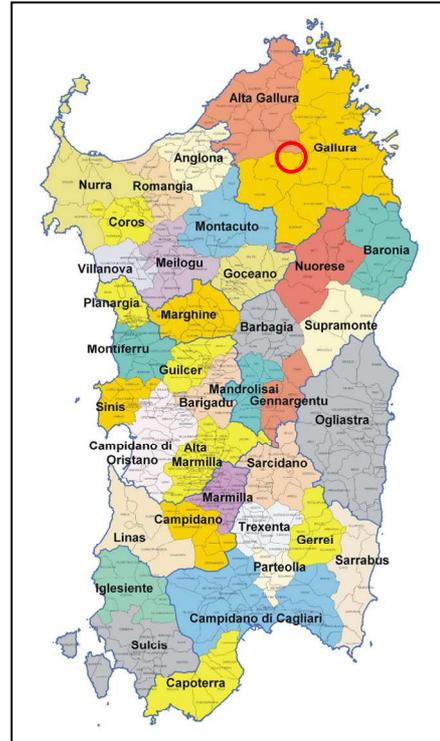
- (a) - Caratterizzazione geologica e geomorfologica generale;*
- (b) - Frane in atto o potenziali;*
- (c) - Presenza di faglie (attive o inattive);*
- (d) - Natura delle litologie, loro comportamento meccanico;*
- (e) - Posizione degli strati rispetto alle opere da realizzare;*
- (f) - Presenza di falde acquifere, allontanamento delle acque e bonifica del terreno;*
- (g) - Fenomeni di subsidenza;*
- (h) - Interferenze con potenziali fenomeni esondativi ed alluvionali.*



INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Al fine di una idonea comprensione, sia degli schemi generali, sia delle condizioni di dettaglio, l'area sottoposta a studio generale, di gran lunga più vasta rispetto a quella strettamente interessata dal progetto, è stata estesa per oltre venti chilometri quadrati.

L'area vasta prescelta per l'installazione è localizzata nell'agro di Berchidda, circa nove chilometri a NE del centro abitato, in sommità al rilievo montuoso di Punta Su Tidimbaru, in località "Sa Soliana", sulla sommità di un limitato allineamento di bassi rialzi emergenti su una cresta montuosa allineata in maniera di una modesta dorsale orientata grossomodo NE-SO, in accordo con una



struttura tettonica di media rilevanza che la delimita sul lato occidentale, e lungo la quale si sviluppa l'alveo del rio Canale Longu.

Si tratta di una superficie che ricade nel settore nordorientale della Sardegna, tra la Gallura e l'alta Gallura, al centro di quella porzione settentrionale del basamento antico che costituisce il margine orientale della tratta settentrionale del rift sardo, una fossa tettonica che attraversa la placca sarda da nord verso sud, dalla Nurra al Campidano.

Il settore in esame, ed in cui deve essere realizzato il parco eolico

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE
FOGLIO 443150 MONTE LIMBARA - FOGLIO 443160 MONTI



LEGENDA



SITO DI INSTALLAZIONE





proposto, è rappresentato da una porzione residuale di un antico altopiano, ad articolazione morfologica abbastanza evoluta e rilevante, che costituisce solo una limitata parte di una superficie di spianamento post ercinica.

Questa si è formata subito dopo l'orogenesi alpina che ha determinato l'emersione del settore, e che perdura ininterrotta fino ad oggi con una fase di continentalità in cui le azioni erosive hanno dapprima asportato totalmente le coperture carbonatiche mesozoiche, di cui oggi si trovano poche tracce a notevole distanza, cioè nell'isola di Tavolara ad oltre 35 chilometri verso NE-NE, poi hanno intaccato il sottostante basamento granitoide.

E' una superficie sub tabulare a bassa inclinazione verso NE, dalla quale risaltano una serie di bassi rilievi più o meno isolati, che verso occidente è delimitata da un versante molto acclive rappresentato da fianco di una valle fluviale impostata su una struttura tettonica primaria, mentre verso nord, est ed ovest i versanti degradano più gradualmente.

Dal punto di vista cartografico l'area di pertinenza risulta inquadrabile come segue:

- Carta IGM in scala 1:100.000 foglio n° 181 TEMPIO PAUSANIA ;
- Carta IGM in scala 1:25.000 foglio n° 443 Tempio Pausania;
- Carta IGM in scala 1:25.000 foglio n° 443 sez. II Monti;
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 foglio 443150 M.te Limbara e 443160 Monti.
-

Per quanto attiene all'ubicazione esatta del lotto, facendo capo al sistema di riferimento chilometrico di Gauss Boaga, questo può essere identificato con le coordinate geografiche del centro di una circonferenza con raggio di ottocentocinquanta metri



che include tutti i siti di installazione, così come sotto riportate:

- N 45 20 505 E 15 21 086



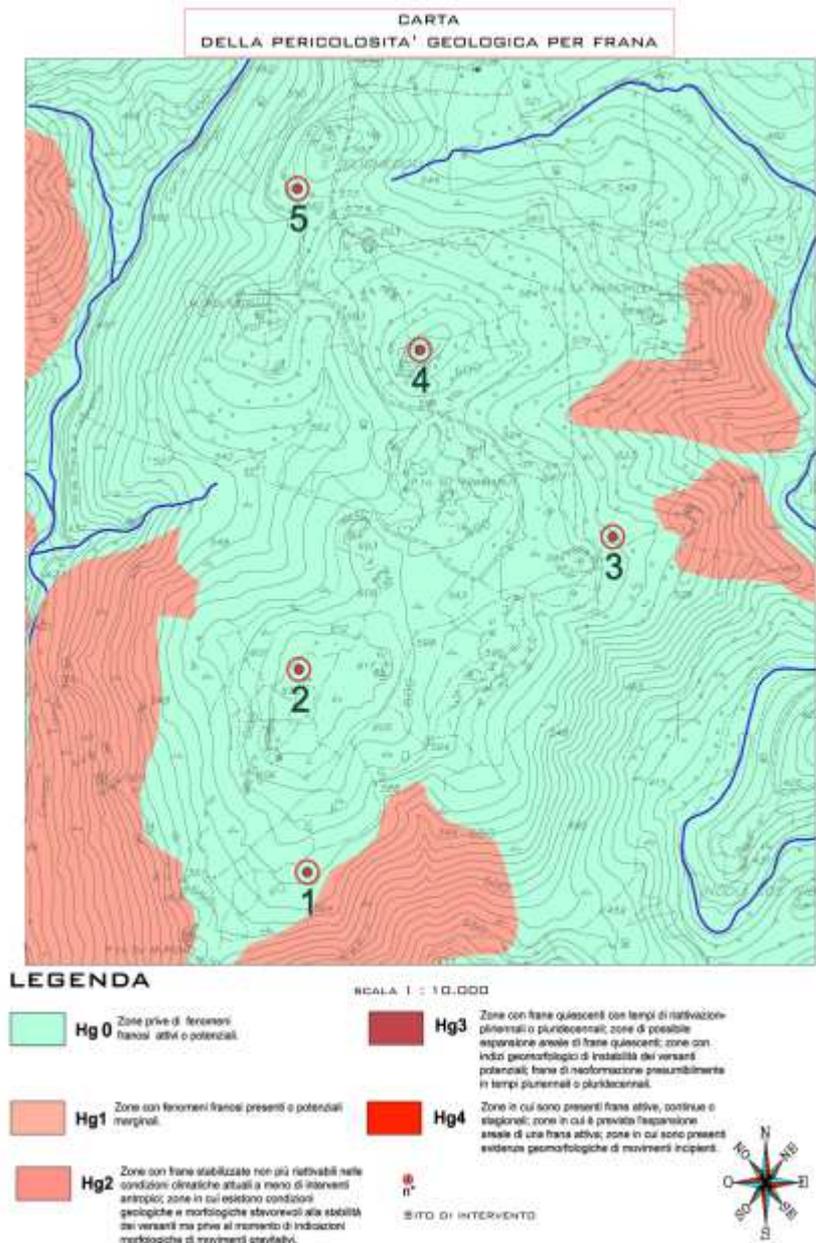
Il settore vasto in esame ricade entro il sub-bacino n° 3 Coghinas – Mannu - Temo, su un'area che include superfici ricadenti nelle classi di pericolosità geologica per frana di livello molto basso, in classe Hg 0, e medio, in classe Hg2.

Di fatto tutte le torri eoliche ricadono su superfici poste all'interno della classe Hg0, con pericolosità geologica per frana di livello molto basso, e solo la turbina n° 1, sita in prossimità del ciglio superiore di un versante particolarmente acclive, dista poco più di cinquanta metri dal limite della classe Hg2.

Ciò consente, quindi, di non dovere estendere lo studio come compatibilità geologica e geotecnica ed ammissibilità al P.A.I., secondo quanto prescritto dalle N.d.A. dello stesso Piano.

Il P.A.I. non individua all'interno dell'area ristretta e dell'area vasta su cui ricade l'intervento in progetto,

alcuna superficie che sia contraddistinta da alcun livello di pericolosità idraulica, per lo meno per distanze di almeno un chilometro rispetto ai siti di installazione.





RELAZIONE GEOLOGICA

PREMESSA

Il presente studio, sviluppato su un ambito notevolmente più vasto rispetto a quello di stretta pertinenza del progetto, è stato elaborato sia in base ai riferimenti della geologia ufficiale, sia sulla scorta delle conoscenze personali acquisite in studi precedenti, sia riferendosi ad un rilevamento diretto in campagna mentre, considerando la tipologia e l'importanza dell'opera, si è ritenuto superfluo eseguire alcuna indagine geognostica conoscitiva di dettaglio facendo riferimento, per quanto alle caratteristiche tecniche generali dei terreni in sito, alle conoscenze acquisite in studi precedenti ed ai risultati del rilevamento geologico di dettaglio che ha permesso l'omologazione delle conoscenze pregresse.

ASSETTO GEOMORFOLOGICO E TETTONICO STRUTTURALE

La morfologia generale del settore esaminato è quella tipica di un ambiente fisiografico a carattere collinare fortemente evoluto, rappresentato da una sorta di un lembo residuale di un penepiano piuttosto articolato da modesti rilievi a bassa altimetria, compresa in media tra i 580 e i 620 m.s.l.m., generati da processi erosivi di origine fluviale protratti dai rii locali su litologie granitoidi o metamorfiche di alto grado a media resistenza morfologica.

Nello specifico si tratta di una porzione residuale di una superficie di spianamento definita generalmente con il termine di penepiano post-ercinico, impostata già al termine del mesozoico e protrattasi con continuità attraverso processi erosivi esogeni fino al periodo attuale.

Il settore infatti si presenta in una condizione di continentalità continua già dal periodo immediatamente successivo l'orogenesi Alpina.

In modo particolare l'area di progetto è stata interessata dai processi morfogenetici ascrivibili al rio Canale Longu, che la delimita sul lato occidentale con una valle molto incisa e profonda, impostata su una faglia di importanza primaria, ed all'esteso reticolo degli affluenti del rio Badu 'e Carru, che occupa il settore orientale prima di confluire nel rio Terramala, poco a sud dell'area di interesse.



sono evoluti spesso su fasce milonitiche e cataclasiche, di per se contraddistinte da una sensibile debolezza strutturale dovuta ai processi di diaclasizzazione e frantumazione per frizione dei due lembi contrapposti di ciascuno specchio di faglia.

Questa rappresenta la dinamica evolutiva che caratterizza l'area vasta in cui è inserito il sito di progetto.

Di fatto tutto il settore non ha subito alcuna trasgressione marina significativa già dopo quella mesozoica, per cui i terreni che solitamente formano la copertura del basamento cristallino antico sono praticamente assenti, e sono rappresentati esclusivamente da sottili coltri di depositi alluvionali e colluviali presenti lungo gli alvei dei rii principali e nelle maggiori depressioni topografiche.

Tale condizione di continentalità estremamente prolungata ha determinato, non solo una evoluzione morfologica estremamente avanzata, ma anche intensi fenomeni alterativi a carico del basamento granitoide, sviluppati secondo i tipici processi di alterazione per ossidazione dei minerali femici.

Questi processi, anche a causa della strutturazione dell'ammasso litoide cristallino, spesso si spingono per profondità medio-alte, talora superiori a quindici metri rispetto alla superficie topografica, ma solitamente si attestano tra cinque e dieci metri.

L'avanzato stato di alterazione del basamento ha facilitato l'evolversi dei processi erosivi, in particolar modo di quelli più recenti legati alle fasi cataglaciali, che hanno permesso la formazione di vasti altopiani erosivi, quale pare essere quello in cui ricade il sito di progetto.

La strutturazione tettonica della zona è esclusivamente di età antica, da ascrivere alle orogenesi ercinica ed alpina, e non sono presenti segni evidenti di fasi tettoniche più recenti.

La direttrice fondamentale è la NE-SO, caratteristica di tutta la Sardegna nordorientale, concorde con la direzione della faglia primaria Olbia – Bosa, al cui sistema appare essere associata la struttura su cui si sviluppa l'alveo del rio Canale Longu e che si manifesta nelle immediate vicinanze del sito di progetto, verso occidente.

Meno frequenti e meno importanti, sia per sviluppo che per continuità, sono le strutture tettoniche secondarie orientate N-S e NNE-SSO.

Nessuna delle strutture tettoniche locali, così come la faglia primaria appena citata, sebbene presenti in vicinanza del sito di progetto, assume carattere di importanza alcuna in relazione



alla stabilità dei terreni tanto che, sia a livello generale che a livello puntuale, possono essere assolutamente esclusi fenomeni di instabilità alcuna.

Le sole manifestazioni morfodinamiche in atto possono essere collegate alle azioni fluviali, attualmente estremamente lente e limitate ad ambiti territoriali strettamente connessi alle immediate adiacenze degli alvei di scorrimento oggi attivi, nelle quali possono manifestarsi, con carattere di eccezionalità ma con media probabilità, fenomeni di modesta esondazione e di erosione spondale laddove se ne presentino le condizioni particolari di accadimento.

Di fatto tutte le installazioni riferibili all'intervento di cui si tratta sono contraddistinte da una distanza abbastanza elevata dai corsi d'acqua oggi caratterizzati da un regime attivo, foss'anche solo occasionale e stagionale.

Tutte le torri eoliche sono localizzate ad una distanza minima di oltre 300 metri rispetto agli alvei dei corsi d'acqua o degli impluvi attivi locali che, oltretutto, nella zona sono presenti nella condizione di esordio, per cui le strutture eoliche si trovano sempre in condizione notevolmente sopraelevata rispetto ai flussi idrici incanalati.

Le sole interferenze possibili sono, quindi, quelle ascrivibili alle acque zenitali dirette dovute alle precipitazioni meteoriche.

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO

Nella carta geologica, allegata come tavola separata dalla relazione, ma di cui si allega uno stralcio ridotto, sono riportate le litologie presenti in affioramento nell'area indagata in cui dovranno essere realizzate le opere in progetto.

Tale carta deriva, sia da conoscenze bibliografiche, sia dal rilevamento diretto in campagna, che consente il riconoscimento inequivocabile delle litologie presenti nell'area in esame e, quindi, una adeguata ricostruzione litostratigrafiche che, peraltro, nel caso specifico è assolutamente semplice ed univoca, ma anche dal risultato di indagini geognostiche di approfondimento realizzate con interventi precedenti, che hanno permesso anche una buona ricostruzione della sequenza litologica verticale.

Le litologie presenti nell'area vasta e nei siti di specifici di installazione e nei loro intorni influenti sono di seguito descritte in maniera sintetica, anche quando non affioranti in maniera diretta, dalle più antiche alle più recenti.

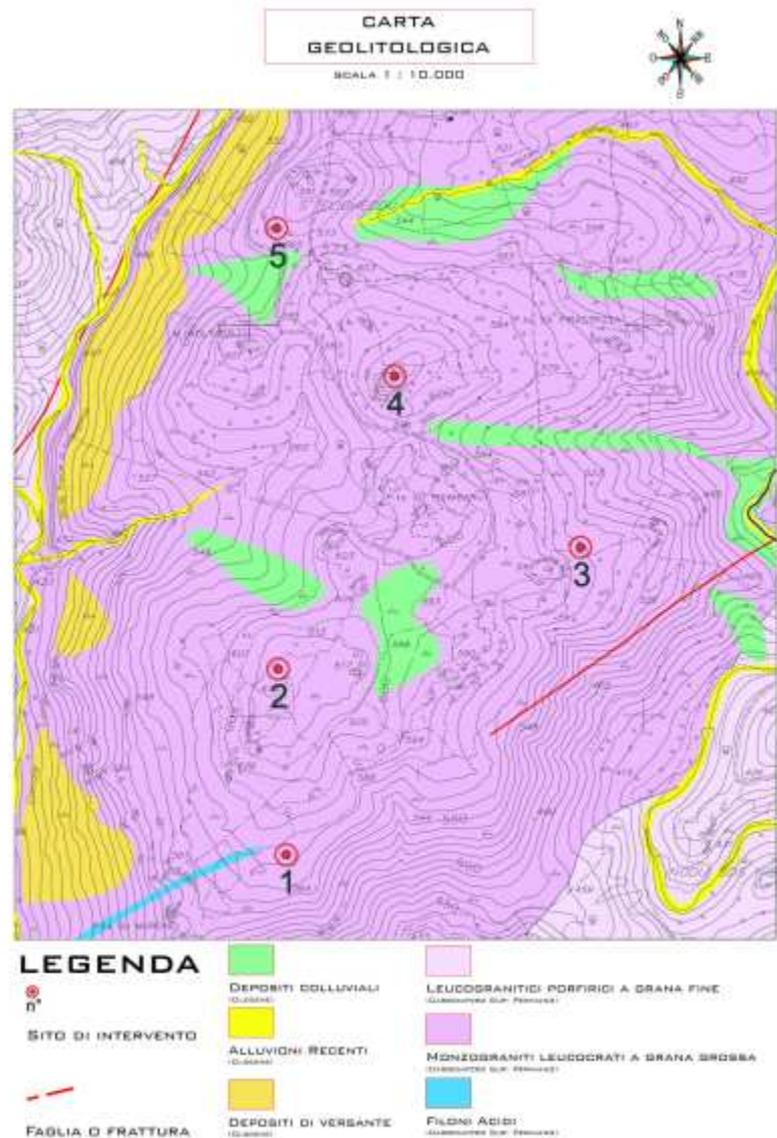


Nell'area affiorano quasi esclusivamente terreni rappresentanti dal basamento cristallino antico, costituito nel settore da rocce granitoidi, e da pochi prodotti derivanti dall'alterazione delle rocce di base.

Del tutto assenti sono le coltri di copertura sedimentaria mesozoica che originariamente, fino alla fine dell'Eocene, costituivano una copertura pressochè continua di tutta la Sardegna orientale, e che nell'area di interesse per un raggio di decine di chilometri sono stati completamente erosi durante la fase di continentalità che si protrae con continuità dall'Oligocene ad oggi.

Le fasi erosive continentali del terziario e del quaternario hanno completamente smantellato la copertura carbonatica mesozoica mettendo a nudo il basamento sottostante, costituito dalla porzione periferica di un batolite composito, ed intaccandolo profondamente, sia dal punto di vista fisico, con i processi di erosione esogena, sia dal punto di vista chimico, attraverso fenomeni di alterazione ed ossidazione.

Questi in alcuni casi si spingono a media ed alta profondità rispetto al piano di campagna odierno, anche oltre venti metri, ed assumono intensità notevole con forte ossidazione delle componenti femiche fino alla completa trasformazione dell'ammasso litoide in un corpo a consistenza terrigena più o meno compatto, che solo nello strato corticale, in genere per una potenza non superiore al metro, può diventare assolutamente sciolto e pochissimo coerente.





Più frequentemente, quando la roccia di base presenta una composizione chimica più acida, come accade con i leucograniti presenti nell'area indagata, l'alterazione è più contenuta e, di fatto, determina scarsi spessori di alterazione con forte pietrosità del suolo.

I granitoidi s.l. locali sono rappresentati da litotipi monzograniti leucocrati a grana grossa, afferibili alla serie calco-alkalina, localmente tendenti a rocce inequigranulari, sempre a carattere leucocratico, di età permiana inferiore, la cui messa in posto sarebbe riconducibile alle fasi tardocinematiche e postcinematiche della tettonica ercinica, databili circa 310 Ma.

Sono rocce definibili come plutoniti tardotettoniche a composizione superacida, con una percentuale di silice compresa tra il 75 ed il 78%, con una disomogeneità composizionale abbastanza rilevante, contraddistinti da evidente foliazione per nastri di quarzo rifuso, con grana eterogenea talora evidenziata da fenocristalli centimetrici di plagioclasio, a tessitura prevalentemente moderatamente isorientata, tendenzialmente isotropa e spesso gneissica.

Le fasi mineralogiche principali sono il quarzo, il feldspato potassico, il plagioclasio, la biotite che però raramente supera concentrazioni del 5%, mentre i femici sono solitamente in netto subordinate, conferendo un carattere fortemente acido a tali ammassi.

Tale composizione influenza in maniera determinante la metodologia e lo sviluppo dei processi alterativi, che solitamente avvengono più intensamente e più approfonditamente sui minerali ferromagnesiaci.

Le rocce granitoidi, per strutturazione, prolungata esposizione agli agenti esogeni e, nel caso specifico dell'area interessata, molto meno per azione delle acque sotterranee, sono soggette a processi alterativi per ossidazione ed alterazione chimica delle componenti ferromagnesiache che tendono a formare minerali argillosi.

L'intensità dell'alterazione determina una perdita di coesione della roccia con gradi variabili, fino a trasformarla in un materiale totalmente sciolto definito localmente con il termine arena granitica, secondo un processo detto di "arenizzazione".

L'arenizzazione, a parità di condizioni ambientali, è più spinta ed avanzata nelle rocce tendenzialmente basiche, dove origina prodotti finegranulari a tendenza argillosa, mentre in quelli acidi tende a dare origine a prodotti sabbioso ghiaiosi.

La totale arenizzazione dell'ammasso solitamente, nelle rocce acide quali quelle presenti nell'area interessata dal progetto, non si spinge a profondità superiori a 0.5 ÷ 1.0 metri rispetto al piano di campagna, eccezionalmente raggiunge i 2.0 metri.



Superata tale profondità si passa gradualmente a fasi caratterizzate da minore intensità dei processi alterativi, con materiali distinti da elevata compattezza ed addensamento, coesi e compatti, quindi a materiali che, seppure caratterizzati da modesti livelli di alterazione localizzata, conservano un carattere sublitoide. a comportamento fortemente coesivo.

La profondità di diffusione dei processi ossidativi ed alterativi cresce notevolmente nelle zone ad intenso disturbo tettonico, cioè fasce milonitiche e cataclasiche dove, grazie anche alla presenza di circolazione idrica sotterranea sempre presente in tali condizioni, il processo di arenizzazione può raggiungere profondità superiori a tre metri dal piano di campagna, mentre l'alterazione parziale può spingersi anche a più di 30 metri dalla superficie.

Un po' ovunque ma in maniera discontinua, è presente una coltre di terreno vegetale, soprattutto nelle aree morfologicamente depresse dove assume spessore superiore, che risulta essere totalmente assente solo in ristrette zone sopraelevate e cacuminali dove si verifica l'affioramento diretto di materiali francamente lapidei.

In tutte le aree di installazione delle torri eoliche i terreni in affioramento superficiale diretto sono rappresentati direttamente dalla roccia granitoide che costituisce il basamento stabile, al più ricoperta in maniera parziale da una sottilissima coltre, non più spessa di pochi centimetri, costituita da un suolo vegetale a composizione sabbioso limosa, generata dall'alterazione in situ dello stesso litotipo profondo, che all'interfaccia superiore può essere interessato da blandi fenomeni di ossidazione, e che comunque è sempre poco alterato, estremamente tenace e compatto, e già a meno di venti centimetri dal piano di campagna, in media, assume un carattere estremamente compatto e sostanzialmente a comportamento sublitoide.

Del tutto assenti sono, all'interno delle aree di sedime ristretto, gli affioramenti di sedimenti francamente alluvionali che, in tutto il settore, sono dislocati esclusivamente nelle fasce immediatamente adiacenti i gli alvei dei corsi d'acqua principali.

Oltre alle alluvioni franche la copertura del basamento può essere costituita da sottili strati di depositi alluviocolluviali, costituiti da livelli poco potenti, di solito compresi tra cinquanta centimetri ed un metro, di sabbie limo-argillose con modesto scheletro ghiaioso fine.

Sono materiali derivanti dall'alterazione diretta delle rocce granitoidi, sedimentati in aree depresse da fenomeni di trasporto ed accumulo misto, sia di tipo gravitativo sia di tipo alluvionale e colluviale.



La loro collocazione è sempre quella del piede di versanti collinari o montuosi, in aree contraddistinte da una netta rottura di pendio concava e, all'interno del lotto interessato dall'intervento sono presenti solo nella porzione settentrionale estrema, nell'area a copertura forestale posta al di fuori del sedime dell'impianto.

Sul fianco dei versanti, alle quote intermedie ed inferiori, soprattutto nel versante nordoccidentale del rilievo montuoso, sono presenti frequenti depositi detritici di versante, sia sotto forma di conoidi, sia come falde più o meno continue.

Sono corpi composti da materiali sciolti grossolani, per lo più sabbie e ghiaie a basso contenuto di componenti finegranulari, sia limose, sia argillose che risultano quasi del tutto assenti, generati dalla disgregazione in situ dell'ammasso granitoide, soprattutto di carattere crioclastico, messi in posto quasi esclusivamente attraverso processi gravitativi.

Il detrito giace a contatto diretto con la roccia del basamento caratterizzata da processi alterativi molto poco avanzati, che lo rendono tendenzialmente subcoerente per una profondità media non superiore a mezzo metro.

Procedendo in profondità i materiali manifestano una graduale diminuzione dei processi alterativi, con un contemporaneo incremento dei caratteri di compattezza e di coesione.

In media, superata la profondità di un metro e mezzo rispetto al piano di campagna, solo eccezionalmente oltre i due metri, i materiali pur se parzialmente alterati denotano un elevato grado di addensamento, con un carattere a tratti sublitoide.

ASSETTO IDROGEOLOGICO

Nell'area esaminata è stato riscontrato un comportamento idrogeologico molto omogeneo.

Lo schema è caratterizzato da terreni superficiali, con potenza compresa non superiore a cinquantri, quando presenti, in genere mediamente o molto permeabili, costituiti dallo strato di terreno vegetale corticale e dalla roccia granitoide di base totalmente alterata ed allentata.

La permeabilità è di tipo primario e dovuta essenzialmente al carattere granulare sciolto dei terreni, con valori del coefficiente compresi tra 1 e 1×10^{-2} cm/sec.

Proseguendo in profondità si incontrano rocce fortemente coese a basso grado di alterazione con una permeabilità di tipo primario medio bassa, e per le quali è possibile definire un



carattere di bassa permeabilità secondaria per fratturazione, in quanto le aperture delle discontinuità strutturali sono quasi sempre nulle con superfici serrate o, al più ostruite dai materiali di alterazione residuali.

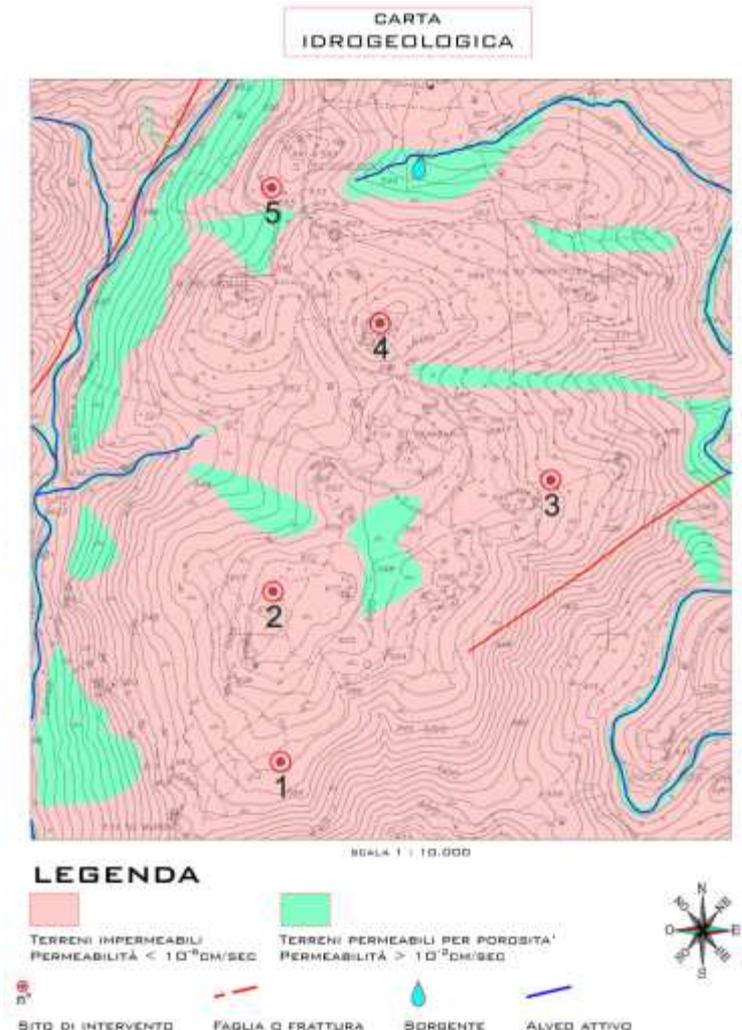
Il coefficiente di permeabilità di questi terreni è estremamente variabile in funzione del loro livello di fessurazione, potendo variare tra 1×10^{-3} cm/sec. e 1×10^{-5} cm/sec., con valori superiori nelle porzioni più superficiali dove si verifica l'impoverimento della frazione argillosa di intasamento dei meati tra le facce delle superfici di discontinuità.

A seguire in profondità, per uno strato potente almeno cinque metri, i terreni sono caratterizzati da superiori valori di densità, quindi da una minore porosità efficace e, di conseguenza, da una minore permeabilità di tipo primario delle componenti alterate,

che può essere variare tra 1×10^{-5} cm/sec. e 1×10^{-7} cm/sec., in pratica permettendo di definire l'ammasso come sostanzialmente impermeabile.

In questo strato anche la permeabilità secondaria o per fratturazione è contraddistinta da valori irrisori, uguali o inferiori a quelli dovuti alla porosità, e ciò per via della assenza di apertura delle superfici strutturali e del fenomeno di totale occlusione delle fratture o delle discontinuità dell'ammasso, a causa della presenza e della forte concentrazione entro i meati delle componenti finegranulari, per lo più limo argillose, ostacolando drasticamente il carattere beante dell'ammasso.

L'ultimo strato individuabile in termini di permeabilità, è quello costituito dalla roccia dotata di carattere lapideo franco che, se privo di alcun livello di fratturazione, deve essere inteso come





assolutamente impermeabile, con valori del coefficiente di permeabilità inferiori a 1×10^{-7} cm/sec..

Valori superiori possono verificarsi in presenza di elevati livelli di fratturazione e in assenza totale di alterazione, condizioni indispensabili per consentire la conservazione dello stato di apertura e di pulizia, e quindi beante, delle aperture tra le superfici di discontinuità.

Nell'area in esame tale condizione si manifesta solitamente a profondità superiori a 50 metri dalla superficie, solo raramente inferiori e ciò può accadere solo in prossimità o in concomitanza con la presenza di discontinuità strutturali relativamente importanti.

Questo schema determina la sostanziale impossibilità di formazione di un acquifero superficiale, o subsuperficiale sviluppato negli strati superiori dei terreni allentati secondo uno schema di falda freatica diffusa, a pelo libero, vista la sostanziale insussistenza di questo reservoir, che peraltro sarebbe costantemente drenato dai corpi idrici di superficie locali.

Una falda di tale tipo si potrebbe manifestare solo nei fondovalle dove si manifesta un maggiore accumulo di terreni sciolti, se superiore a due metri di potenza, in un acquifero arealmente estremamente limitato, confinato lateralmente ed al fondo che ha come letto i terreni granitoidi arenizzati ma dotati di forte coesione.

E' un acquifero di tipo effimero, legato alle condizioni meteorologiche, che garantisce portate unitarie molto basse e capacità di accumulo comunque molto modeste, e che risulta essere assolutamente isolato e non comunicante con altri acquiferi.

La presenza di questa forma di accumulo è da escludere assolutamente in tutti i siti di interesse del progetto di cui si tratta.

La presenza di una forma di circolazione e di accumulo idrico sotterraneo però appare evidente con riscontri oggettivi riconducibili alla presenza di alcune sorgenti di importanza a volta non secondaria.

Questa forma di circolazione deve essere definita non come una vera e propria falda quanto piuttosto come una rete, più o meno in pressione, che si estende nelle aperture dall'ammasso roccioso generate dalle discontinuità strutturali, sviluppate alla profondità in cui i processi alterativi sono praticamente nulli e consentono alle stesse aperture di rimanere libere e beanti.

Da tale reservoir le acque accumulate, che comunque hanno diffusione estesa sia planimetricamente che verticalmente, possono risalire in superficie per spinta idrostatica e pressione litostatica, seguendo condutture che quasi sempre sfruttano le discontinuità



tettoniche, dando origine a sorgenti, più o meno importanti, a volte solo effimere e connesse all'alimentazione meteorica stagionale, quale quella presente poco a NE del punto di installazione n° 5 più a valle del lotto di progetto, verso NO, ad una distanza di circa trecentocinquanta metri, che fornisce alimentazione parziale ad un asta secondaria del reticolo fluviale diffuso di un affluente del rio Terramala, posto ad oriente dell'area vasta di sedime.

Queste considerazioni permettono di valutare come estremamente elevato il coefficiente di sicurezza idrogeologica dell'area di progetto, consentendo di escludere assolutamente la possibilità di alcuna interferenza diretta o indiretta tra le opere in progetto e i corpi idrici sotterranei, limitando le interazioni solo alle acque meteoriche zenitali dirette.

Per quanto attiene all'assetto idrografico si riscontra una profonda differenza tra il settore orientale e quello occidentale, In quest'ultimo l'idrografia principale è rappresentata dal rio Canale Longu, che scorre all'interno di un alveo a decorso sostanzialmente rettilineo in quanto impostato su una struttura tettonica primaria, con un basso ordine di gerarchizzazione, contraddistinto da un deflusso perenne grazie agli apporti di alcune manifestazioni sorgentizie presenti all'interno del suo bacino di alimentazione.

L'idrografia del settore orientale è invece contraddistinta da un reticolo ad elevata gerarchizzazione, con aste che superano frequentemente il quarto grado, caratterizzato da una geometria tendenzialmente dendritica subangolare, spesso nettamente rettangolare per via della forte influenza della strutturazione tettonica nell'evoluzione dell'idrografia di superficiale.

L'elemento idrologico di superficie più rilevante per la zona orientale è costituito dal corso d'acqua appena citato, del quale non si è riusciti a risalire al nome che lo contraddistingue, la cui caratteristica particolare è l'estrema sinuosità dell'alveo, che presenta una anomala tendenza alla meandrazione legata all'interferenza con le strutture tettoniche locali.

Presenta un bacino di alimentazione molto ampio all'interno del quale sono presenti anche alcune sorgenti perenni, che consentono al corso d'acqua un deflusso subaereo palese durante tutto l'anno.

Nessun corso d'acqua, anche solo secondario ed effimero, dotato di deflusso superficiale perenne e palese, è presente nel raggio di oltre duecento metri da tutte le aree di installazione che, oltretutto, sono sempre in condizione sopraelevata rispetto al fondo degli alvei, o degli impluvi profondi locali, di almeno dieci metri.



In definitiva anche per quanto attiene all'assetto idrografico si può attestare una assoluta assenza, anche solo a livello potenziale, tra l'opera in progetto e la circolazione idrica superficiale.

Modello Geologico

Considerata l'estensione abbastanza modesta della superficie interessata dal progetto, è possibile formulare un modello geologico unico ed univoco che può ben identificare tutti i siti di installazione e tutta l'area di interesse che, come specificato nei capitoli precedenti, comprende una unica unità fisiografica.

In maniera generica si può definire un modello monostrato, con un basamento che a livello locale è rappresentato dalle litologie paleozoiche cristalline, di tipo granitoide, più o meno compatti e fessurati, ma sempre poco alterati e dotati di un comportamento sublitoide, per lo meno già a profondità molto basse, che al più possono essere ricoperti, a tratti ed in maniera discontinua, da una sottilissima copertura allentata, autoctona, di potenza estremamente variabile, che oscilla da zero a pochissimi decimetri, mai più di trenta.

In tutti i casi, sia la sequenza generale, sia l'assetto puntuale, sono ben conosciuti e, come detto in premessa, non evidenziano alcuna problematica di tipo statico, per cui tutte le opere proposte vedono totale ed assoluta fattibilità senza alcun pregiudizio o necessità di particolari accorgimenti tecnici.

E' evidente come la successione stratigrafica locale non può differire in maniera sensibile all'interno della superficie di progetto, con solo modestissime oscillazioni della potenza dello strato di copertura, la cui presenza è spesso assente del tutto o, in alternativa, può variare tra pochi centimetri, nelle aree poste alle quote superiori, a non più di trenta centimetri, soprattutto nel settore orientale, dove l'assetto morfodinamico consente modesti fenomeni di deposito alluviocolluviale.

Moderata è pure la variabilità dello spessore della coltre di parziale alterazione del granito di base, che può oscillare tra cinquanta centimetri ed un metro.

Ne deriva che il basamento stabile, sostanzialmente incompressibile, al più è localizzato a non più di mezzo metro dalla superficie topografica.



INQUADRAMENTO SISMICO

Al fine di determinare l'entità delle azioni sismiche sui terreni e sulle strutture in progetto, così da poterne individuare gli effetti nelle condizioni dello stato limite, è di fondamentale importanza definire la cosiddetta "pericolosità sismica di base" del sito di sedime.

Il rischio sismico può essere definito dalla sovrapposizione della pericolosità sismica caratteristica, cioè dalla descrizione delle strutture sismogenetiche e dalla loro capacità di reazione all'eccitazione sismica, con la vulnerabilità sismica, cioè la capacità delle strutture di resistere alle sollecitazioni sismiche, e il livello di esposizione, cioè la presenza nell'area in esame di manufatti a rischio.

La classificazione sismica e le mappe su cui la stessa si basa, forniscono un livello di riferimento delle forze sismiche rispetto al quale i manufatti devono essere dimensionati nelle diverse componenti al fine di reagire correttamente senza collassare a causa delle sollecitazioni generate da un sisma.

Tali criteri sono riportati nell'allegato al recente D.M. 17 gennaio 2018 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI", secondo cui la classificazione sismica si deve basare sulla localizzazione degli interventi riferendosi alla loro posizione riferita ai vertici sismici del reticolo nazionale.

La sismicità della Regione Sardegna è molto bassa in assoluto, infatti sia i dati storici, sia i rilevamenti strumentali, non evidenziano alcun seppur minimo livello critico nella pericolosità sismica di base, pertanto, sull'intera isola si assume, per lo stesso periodo di ritorno dell'evento, un unico valore di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g), come nella tabella seguente, in cui viene indicata la pericolosità sismica sui suoli rigidi tramite i parametri di a_g , F_o , T_c^* :

Isola	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$		
	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*
Sardegna	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,269	0,274	2,7	0,303
Isola	$T_R = 101$			$T_R = 140$			$T_R = 201$		
	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*
Sardegna	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322
Isola	$T_R = 475$			$T_R = 975$			$T_R = 2475$		
	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*	a_g	F_o	T_c^*
Sardegna	0,5	2,88	0,34	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401

dove,

a_g = accelerazione massima orizzontale del sito;

F_o = 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.



L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A definisce quattro zone sismiche con accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sull'intero territorio nazionale, rispetto alle quali l'area studiata ricade nella zona 4.

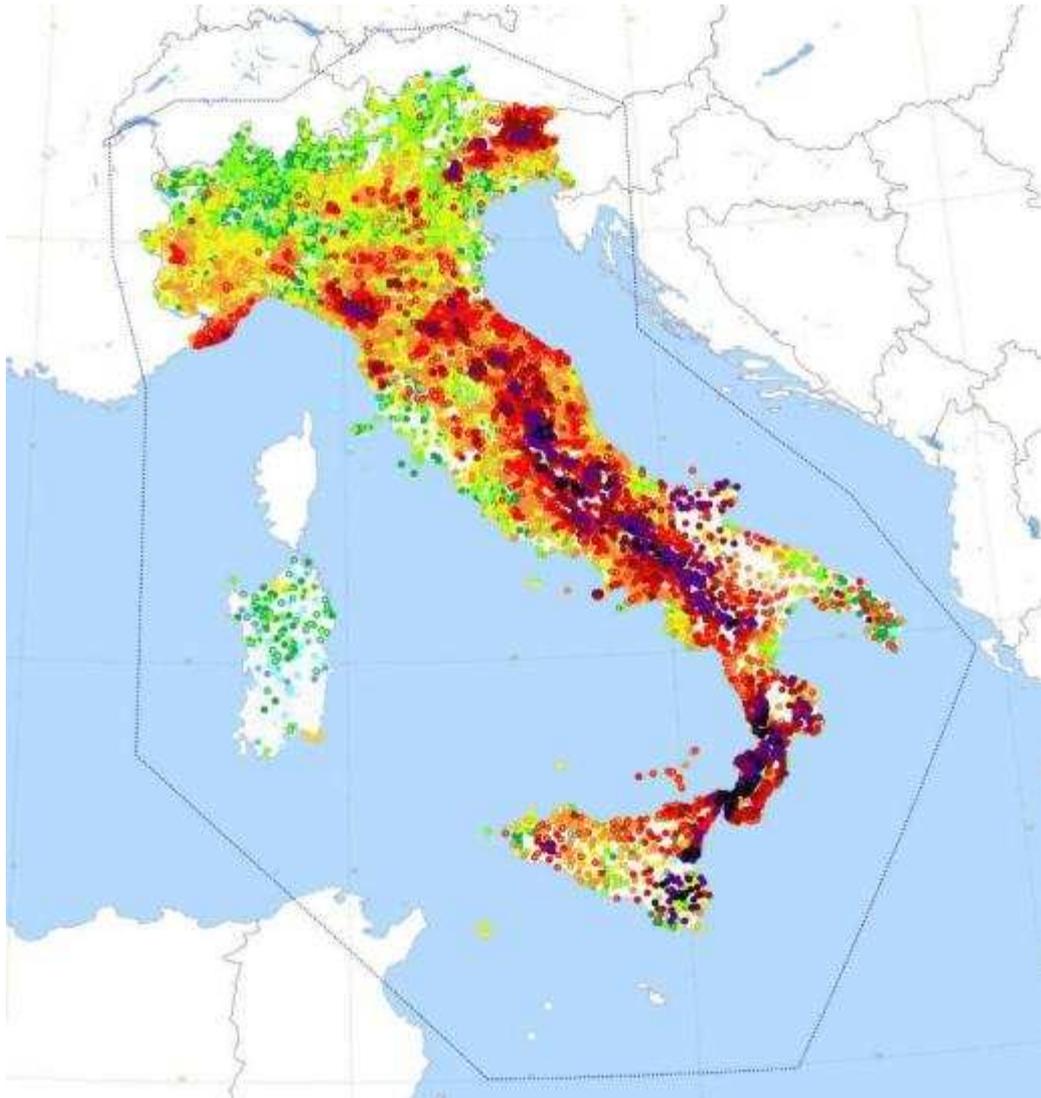
Z O N A	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ag/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Questa zona è caratterizzata da un'accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiore a 0,05 (ag/g), cioè un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,05 (ag/g), riferita a suoli moltorigidi.

Per definire una corretta classificazione sismica di una determinata area, è indispensabile una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, stimata con l'analisi di dati sia storici che strumentali, censiti e riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area in progetto è stata analizzata consultando i seguenti database ufficiali:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano;
- Data Base Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).



Localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 v.3.0 (fonte: INGV).

In Figura è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo

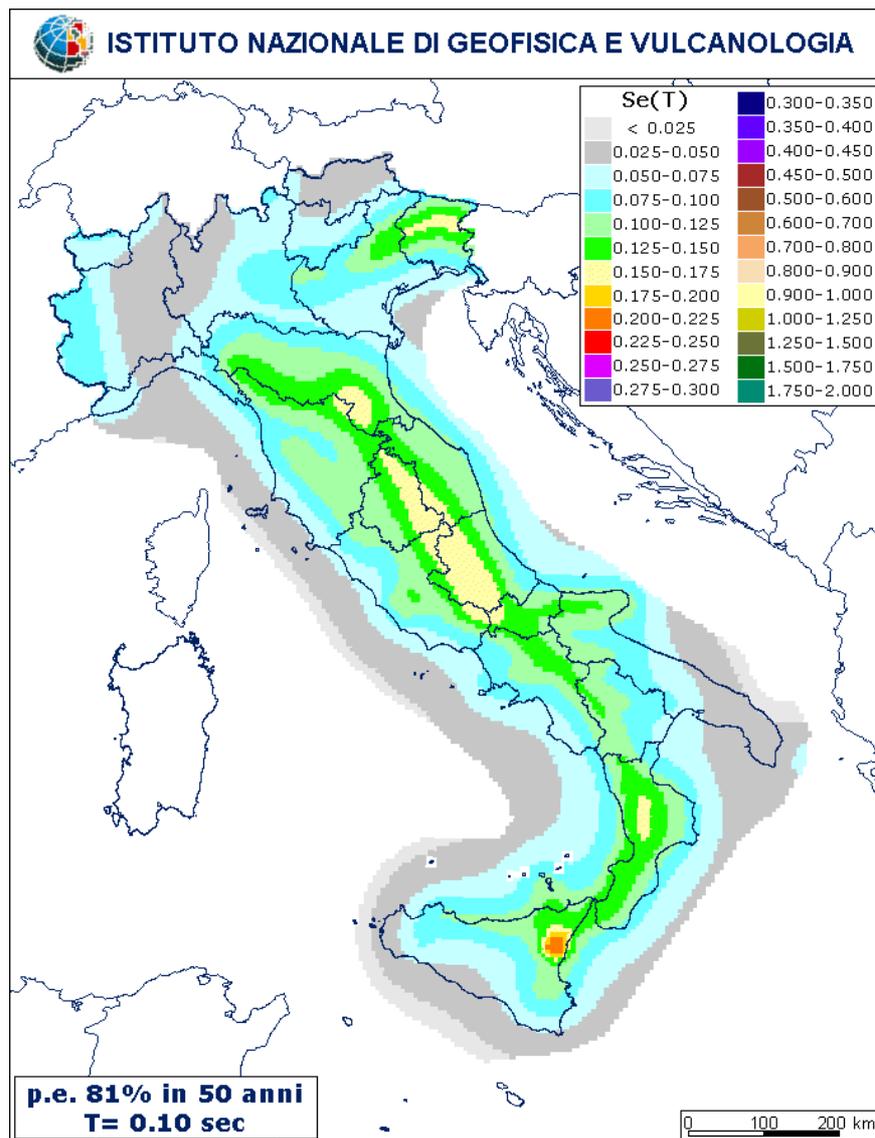
Il periodo cronologico cui si riferiscono sia il catalogo CPTI15 che il database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., fornendo per ciascun sisma una stima il più possibile corretta di localizzazione dell'epicentro secondo la sua Latitudine e Longitudine, ma anche dell'intensità massima all'epicentro, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Il CPTI15 ha valutato solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.



L'area interessata dal progetto ha una sismicità storica molto bassa e nel catalogo CPTI15 vi sono solo due eventi di magnitudo $\geq 5M_w$ (1924 e 1948), con intensità di 6MCS riscontrate nell'evento del 1948 in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale.

Tutti i terremoti più recenti, riscontrati tra il 2000, 2004 e 2006, localizzati in mare hanno avuto magnitudo $M_w < 5$, sono stati appena percepiti sulla terraferma.



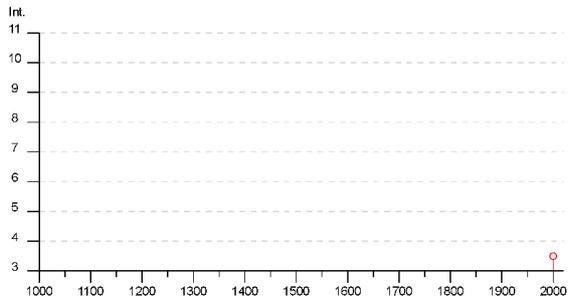
Nessun sisma è stato censito nell'intorno immediato del sito di progetto e quelli più prossimi distano da 3 a 5 chilometri, registrati a Berchidda e Monti, con intensità sempre basse, tra 7 e 9.

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, 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.



Berchidda

PlaceID IT_68151
 Coordinate (lat, lon) 40.786, 9.166
 Comune (ISTAT 2015) Berchidda
 Provincia Olbia-Tempio
 Regione Sardegna
 Numero di eventi riportati 2



Effeetti		In occasione del terremoto del						
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
3-4	2000 04 26 13 3 / 4	Tirreno centrale	265		4.77			
NF	2004 12 18 09 12 4	Tirreno centrale	30		4.58			

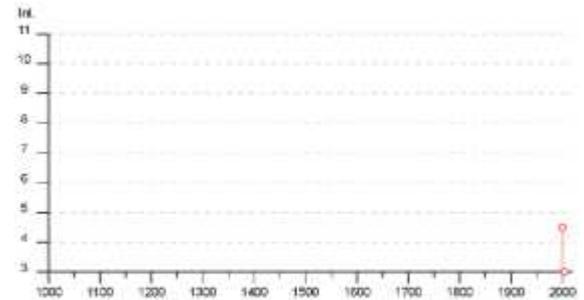
Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Oschiri	2	9



Monti

PlaceID IT_68279
 Coordinate (lat, lon) 40.805, 9.326
 Comune (ISTAT 2015) Monti
 Provincia Olbia-Tempio
 Regione Sardegna
 Numero di eventi riportati 2



Effeetti		In occasione del terremoto del						
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
3-4	2000 04 26 13 3 / 4	Tirreno centrale	265		4.77			
3	2004 12 18 09 12 4	Tirreno centrale	30		4.58			

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Telti	2	8



Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPT115 relativi alla zona in esame.

Il database DBMI15 raccoglie gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica e consente di elaborare la sismicità storica di ogni singola zona, permettendo di elaborare un elenco degli



effetti di avvertimento o di danno, in termini di diverso grado di intensità, censiti in un dato periodo di osservazione a causa di eventi sismici.

Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

COMUNE	PROV	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVIN	Imax	Terremoti
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fornelli)	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidoni	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinias	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghina	SS	3	1
Bortigiadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallu	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Monserato	CA	2-3	1	Scano di Montiferro	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennori	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Muntiggioni	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	SS	4	1	Siamaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	ghedu di San Nic	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	ghedu Santa Vitt	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausania	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiararamonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrongianos	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonaria	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossoine	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Trinità d'Agultu	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escolca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirso	OR	3	1
Esportatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orosei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Orotelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fordongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtelli	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata sulla base della recente Zonazione Sismogenetica elaborata dall'INGV e nota come denominata ZS9.

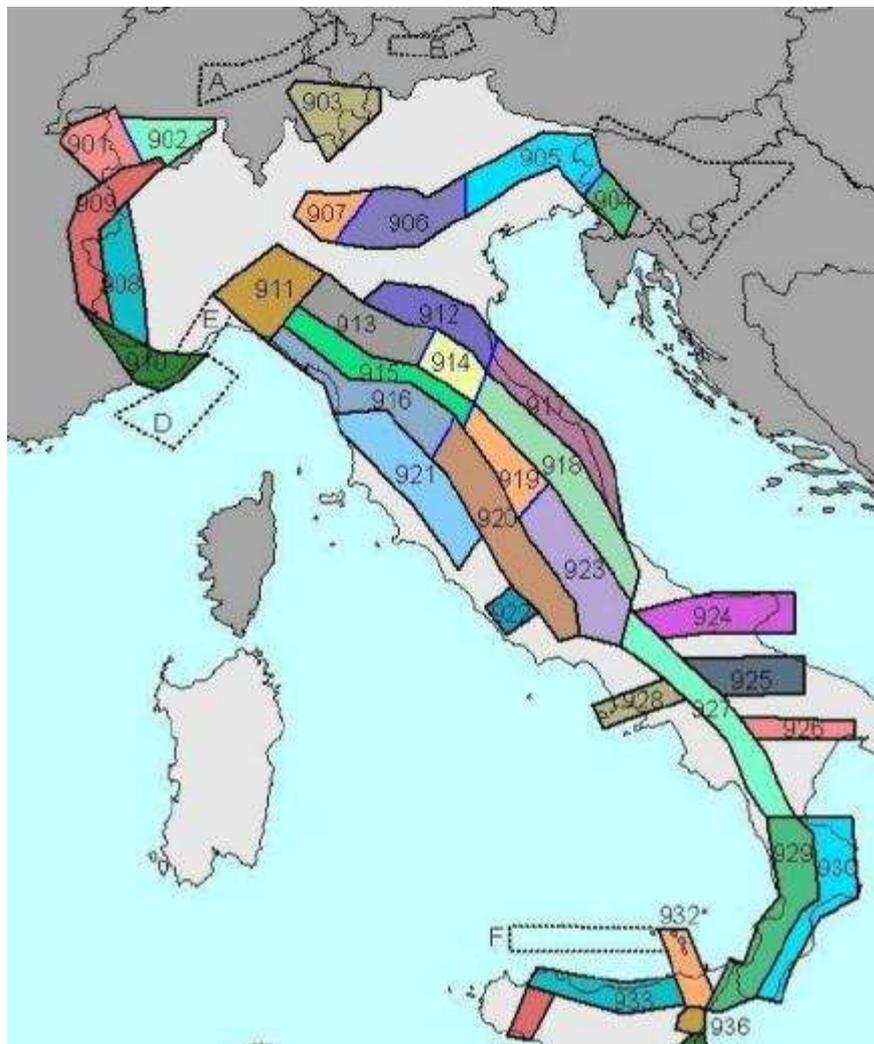


Tale suddivisione in zone omogenee è considerata, nella recente letteratura scientifica, quella più completa e aggiornata a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che il settore studiato non è caratterizzato da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

Analogo risultato è stato ottenuto da studi più recenti per la valutazione della pericolosità sismica nazionale evidenziando la difficoltà di definire per la Sardegna una mappa delle sorgenti sismogenetiche, vista la bassa sismicità che contraddistingue tutta la regione.

La "pericolosità sismica di base", così come identificata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17-01-2018, introduce il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, e costituisce elemento fondamentale per la scelta dei coefficienti delle azioni sismiche da applicare nella progettazione delle diverse opere



Mappa della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia (INGV 2004).



Oggi la pericolosità sismica è definita su un reticolo di riferimento in base a diversi intervalli di riferimento, detti periodo di ritorno, che suddivide il territorio italiano in maglie di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (TR) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g = accelerazione massima orizzontale del 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.

La pericolosità sismica di un sito, quindi, dipende dalla posizione dell'opera in progetto rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate in maniera generica in base al fatto che il sito in cui erigere l'opera ricada all'interno di una zona sismica con specifica classe, ma vanno calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo e per ciascuno dei periodi di ritorno (TR) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio che non dovesse ricadere nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di progetto (a_g , F_0 , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

La "pericolosità sismica di base" del sito definisce la probabilità che, entro un certo lasso di tempo predeterminato detto "Periodo di riferimento" VR espresso in anni, in tale area si verifichi un evento sismico di entità pari o superiore ad un valore prefissato.

Questa è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR .

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito rigido, con superficie topografica orizzontale e deve essere definita sia in termini geografici che in termini temporali:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC (nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite).
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono



sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km).

- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R .

Ai fini delle N.T.C. gli stati limite (SL) per i quali l'opera viene progettata sono definiti, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai parametri su sito di riferimento rigido orizzontale: a_g , F_0 e T_C^* .

Nelle NTC la stima della pericolosità sismica è basata su una griglia di 10751 punti ove viene fornita la terna di valori a_g , F_0 e T_C^* per nove distinti periodi.

Per la determinazione di tali parametri occorre partire dai seguenti dati di base:

- Categoria di sottosuolo: da definirsi in base alla quota del piano di fondazione delle opere in progetto,
- Classe d'Uso della costruzione: deve essere definita dai progettisti in base alla tipologia dei manufatti;
- Categoria Topografica: in base alla tipologia ed ubicazione di superficie topografica di sedime;
- Vita nominale (V_N): in base al tipo di costruzione.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Questa prima era di eseguita sulla base dei valori della V_{S30} cioè la velocità equivalente di propagazione nel terreno delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità ma, dal 22 marzo 2018 le NTC 2018 hanno introdotto la V_S equivalente (V_{SEQ}) definita dalla seguente formula:

$$V_{S,SEQ} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h}{V_{s,i}}}$$

Con:

- h_i = spessore dello stato i -esimo;
- $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/sec (bedrock sismico).



Per depositi con profondità del substrato rigido superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S, EQ}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018, prevedono la distinzione delle categorie di sottosuolo secondo la seguente tabella:

CATEGORIA	DESCRIZIONE
<i>A</i>	<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>
<i>B</i>	<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>
<i>C</i>	<i>Depositati 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 e 360 m/s.</i>
<i>D</i>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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.</i>
<i>E</i>	<i>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.</i>

NTC 2018 Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo.

La normativa vigente evidenzia, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, come i profili stratigrafici del sottosuolo, in base le loro spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base.

L'amplificazione delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende quindi dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{SH} nelle coperture.

I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da specifiche indagini di risposta sismica locale ma, in mancanza di queste, nelle Norme Tecniche per le Costruzioni si definiscono cinque categorie di suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica (A, B, C, D, E), caratterizzate da velocità V_{S30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.



Grazie all'assoluta semplicità ed estrema evidenza di semplicità della sequenza litostratigrafica locale, che in pratica vede la presenza del basamento cristallino, cioè del riflettore sismico, ad una profondità non superiore a due metri dal piano di campagna, il suolo presente in tutti i punti di installazione individuati dal presente progetto può essere ricondotto, inequivocabilmente, nella categoria A.

L'amplificazione delle azioni sismiche risente, oltre che dell'assetto litostratigrafico, anche di quello topografico, e per conto di tali si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nelle seguenti tabelle in funzione delle categorie morfologiche e dell'ubicazione dell'intervento.

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione seguente.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tali categorie si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se i rilievi possiedono dislivelli maggiori di 30 m.

CATEGORIA TOPOGRAFICA	UBICAZIONE DELL'OPERA E DELL'INTERVENTO	S_T
T1		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

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella soprastante, in funzione delle categorie topografiche definite nella tabella precedente e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Per il caso in esame tutte le installazioni sono previste in aree pianeggianti o con una inclinazione del piano di campagna sempre notevolmente inferiore a 15° , per cui la categoria topografica di riferimento è la T1, cui corrisponde un coefficiente di amplificazione $S_T = 1,0$.



VISTA SATELLITARE ZENITALE GLOBALE



VISTA SATELLITARE OBLIQUA GLOBALE





SITO GENERATORE N°1





SITO GENERATORE N°2



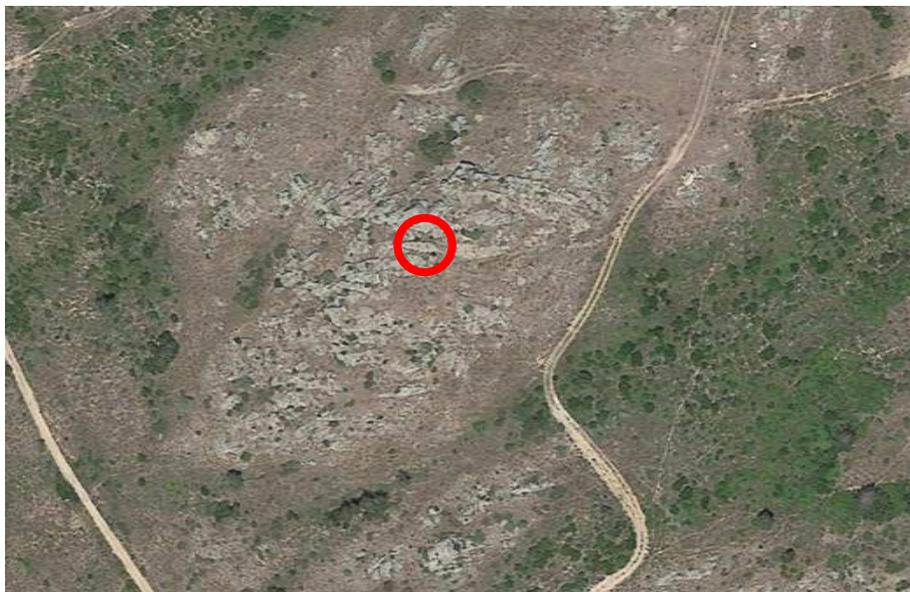
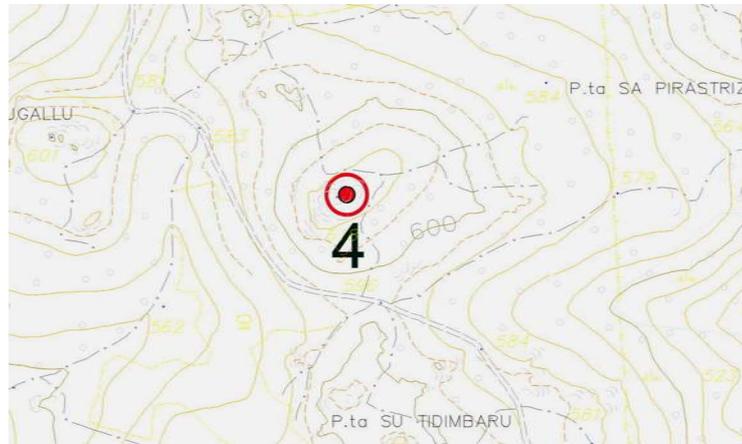


SITO GENERATORE N°3



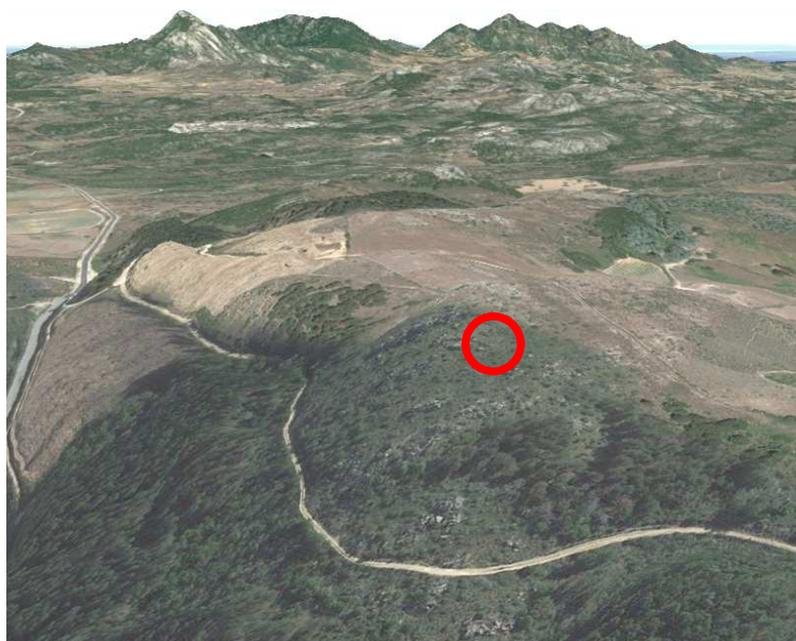
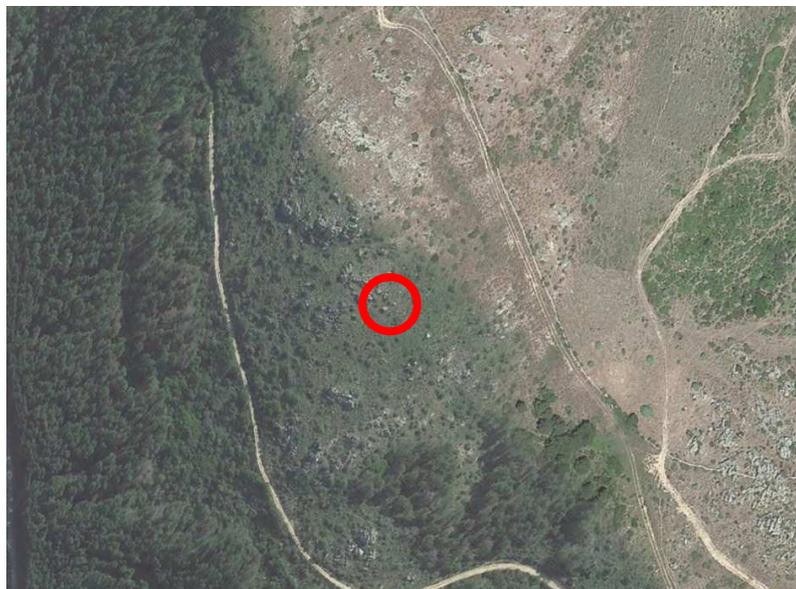
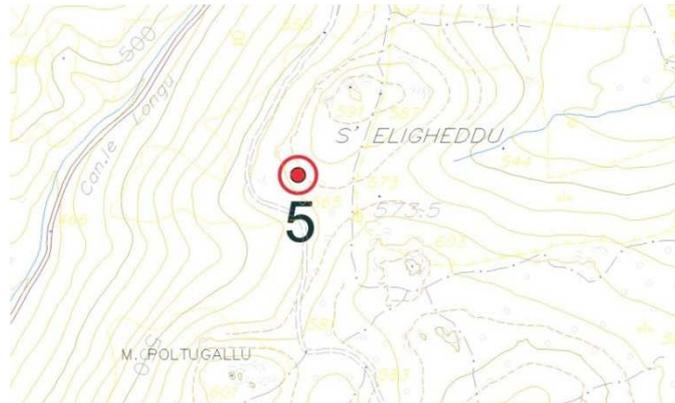


SITO GENERATORE N°4





SITO GENERATORE N°5





CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella presente relazione, che costituisce parte integrante del progetto di un campo eolico costituito da cinque aerogeneratori su torre, proposto dalla società IVPC Power 8 e da realizzare in agro di Berchidda, in provincia di Sassari. nell'altopiano di Punta Su Tidimbaru, sono illustrate le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e strutturali dell'area vasta in cui l'intervento deve essere attuato.

Il sedime è stato individuato sull'altopiano posto circa nove chilometri a NE del paese, una superficie tendenzialmente pianeggiante con una modestissima pendenza inferiore al 10% verso NE, che rappresenta il lemboresiduo di una antica superficie di spinamento antica, di natura granitoide, riconducibile all'inizio dell'Oligocene, sottoposta a intensa rielaborazione morfologica.

E' contraddistinta da un medio livello di articolazione morfologica, per lo più legata a dinamiche relativamente antiche e riconducibili già alla metà del cenozoico, che evidenzia una avanzata maturità del processo di inversione del rilievo, ripresa e rielaborata nel quaternario antico, mentre nelle condizioni odierne la morfogenesi può essere considerata come fossile.

Modesto maggiore dinamismo ed articolazione contraddistingue le fasce periferiche dell'altopiano, orlato da superfici da mediamente a molto acclivi per quasi tutto il suo perimetro, dove le dinamiche fluviali hanno agito formando versanti molto acclivi in seguito addolciti da processi di pendio.

In tutti e cinque i siti di installazione, come nei loro dintorni vasti per un raggio sempre superiore a duecento metri, infatti, sono del tutto assenti processi instabili attivi o quiescenti, né è possibile che se ne possano generare a seguito dell'attuazione dell'intervento proposto.

I terreni di appoggio sono sempre rappresentati da rocce cristalline granitoidi in facies francamente lapidea, al più interessate da modestissimi fenomeni ossidativi e da una fessurazione di media o modesta intensità che, comunque, permette loro di rimanere compatte e con carattere litoide franco, o al più sublitoide ma comunque estremamente consistente e fortemente coeso.

Le caratteristiche tecniche di queste rocce migliorano drasticamente anche per piccolissimi incrementi della profondità, e già a meno di un metro dalla superficie si manifestano assolutamente integre, compatte, e con carattere litoide franco.

Nonostante i livelli di fessurazione superficiale relativamente intensi, nelle zone di sedime lo strato di copertura corticale allentata, composta prevalente da costituenti litoidi sabbiose, ghiaiose ed al più microghiaiose, sempre a bassissima matrice limo-argillosa, ha uno spessore molto contenuto, eccezionalmente superiore a pochi decimetri.



In definitiva il modello geologico che si può definire rappresentativo dell'area di progetto può essere descritto da uno schema a un solo strato riconducibile al basamento cristallino antico, essendo la copertura corticale assolutamente priva di alcun significato concreto.

La caratterizzazione idrogeologica vede i calcari contraddistinti da una sostanziale impermeabilità dell'ammasso roccioso, con la sola eccezione dei livelli più corticali, spinti a non più di un metro dalla superficie topografica, dove può riscontrarsi una modestissima permeabilità, prevalentemente per fessurazione, in via subordinata e solo nello strato pellicolare, per porosità primaria.

Ciò consente un drenaggio superficiale molto alto ed una bassissima infiltrazione efficace, condizione che limita lo sviluppo e l'articolazione del reticolo idrografico, quasi sempre assente o di tipo areico, nell'altopiano, mentre assume connotazione più marcata ai margini di questo.

Nelle aree periferiche, infatti, grazie anche alla presenza di strutture tettoniche antiche, è stata favorita la formazione di vallecole e valli anche pronunciate.

Nei siti di specifico interesse del progetto l'articolazione idrografica è del tutto assente e si manifesta solo a distanze di oltre duecento metri, pur con forme poco accentuate, mentre l'assetto idrogeologico porta ad escludere assolutamente qualsiasi forma di interferenza con le acque sotterranee.

In definitiva, quindi, l'intervento proposto con il progetto cui ci si riferisce dimostra assoluta fattibilità dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico, permettendo di escludere categoricamente l'insorgenza, o anche solo la predisposizione, di alcuna interferenza negativa tra i terreni di sedime e le strutture da porre in essere, per cui la loro installazione non determinerà alcun incremento della pericolosità per frana di alcuna delle sei aree di installazione, né comporterà la necessità di adottare misure di mitigazione o di compensazione del rischio.

Nuoro, Ottobre 2023

Il tecnico

Dott. Geol. Gianfranco Mulas

