



Regione Calabria
 Provincia di Cosenza
 Comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna,
 Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara



Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Rocca Imperiale", costituito da 9 (nove) aerogeneratori per una potenza nominale totale di 64,80 MW integrato con un sistema di accumulo di 20,00 MW, da realizzarsi nei Comuni di Rocca Imperiale e Montegiordano con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna, Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Numero documento:

Commissa					Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.	
2	3	4	3	1	5	D	R	0 3 1 1	0 0

Proponente:

FRI-EL

FRI-EL S.p.A.
 Piazza della Rotonda 2
 00186 Roma (RM)
fri-elspa@legalmail.it
 P. Iva 01652230218
 Cod. Fisc. 07321020153

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.
 Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)
 Tel. +39 0825 891313
www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Consulente

Dott. Antonio Petriccione

Antonio Petriccione

Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
		00	29.01.2024	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	M. SAMMARTINO	G. RIELLO

INDICE

1	SCOPO.....	3
1.1	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO	3
1.2	ARTICOLAZIONE DEL LAVORO	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	5
2.1	GEOLOGICO E STRUTTURALE	5
2.2	GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO	14
2.3	GEOMORFOLOGICO	14
2.4	IDROGEOLOGICO.....	16
2.5	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA	17
3	MODELLAZIONE SISMICA.....	17
3.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA	17
3.2	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DERIVANTI DA INDAGINI PREGRESSE.....	20
3.3	ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE	21
3.4	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	22
4	MODELLAZIONE GEOTECNICA	22
4.1	STABILITÀ DELL'AREA	24
4.2	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	24
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	26

ALLEGATI:

1. Stralcio Corografia di inquadramento con ubicazione dell'impianto eolico e delle opere connesse Scala 1:25.000
2. Stralcio Carta Geologica d'Italia Scala 1:50.000
3. Stralcio Carta scenari di rischio AdB Distrettuale Appennino Meridionale Scala 1:25.000 (UoM Regionale Calabria e interregionale Lao – ex AdB reg. Calabria)

1 SCOPO

Scopo del presente documento è la redazione della relazione geologica e geotecnica, finalizzata all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione e all'esercizio di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Rocca Imperiale" costituito da n° 9 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 64,80 MW integrato con un sistema di accumulo di 20,00 MW, da realizzarsi nei Comuni di Rocca Imperiale (CS) e Montegiordano (CS), e delle relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili, da realizzarsi nei comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna, Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara in provincia di Cosenza, da collegare alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. "Amendolara") con uno stallo a 150 kV, ubicata all'interno del comune di Amendolara.

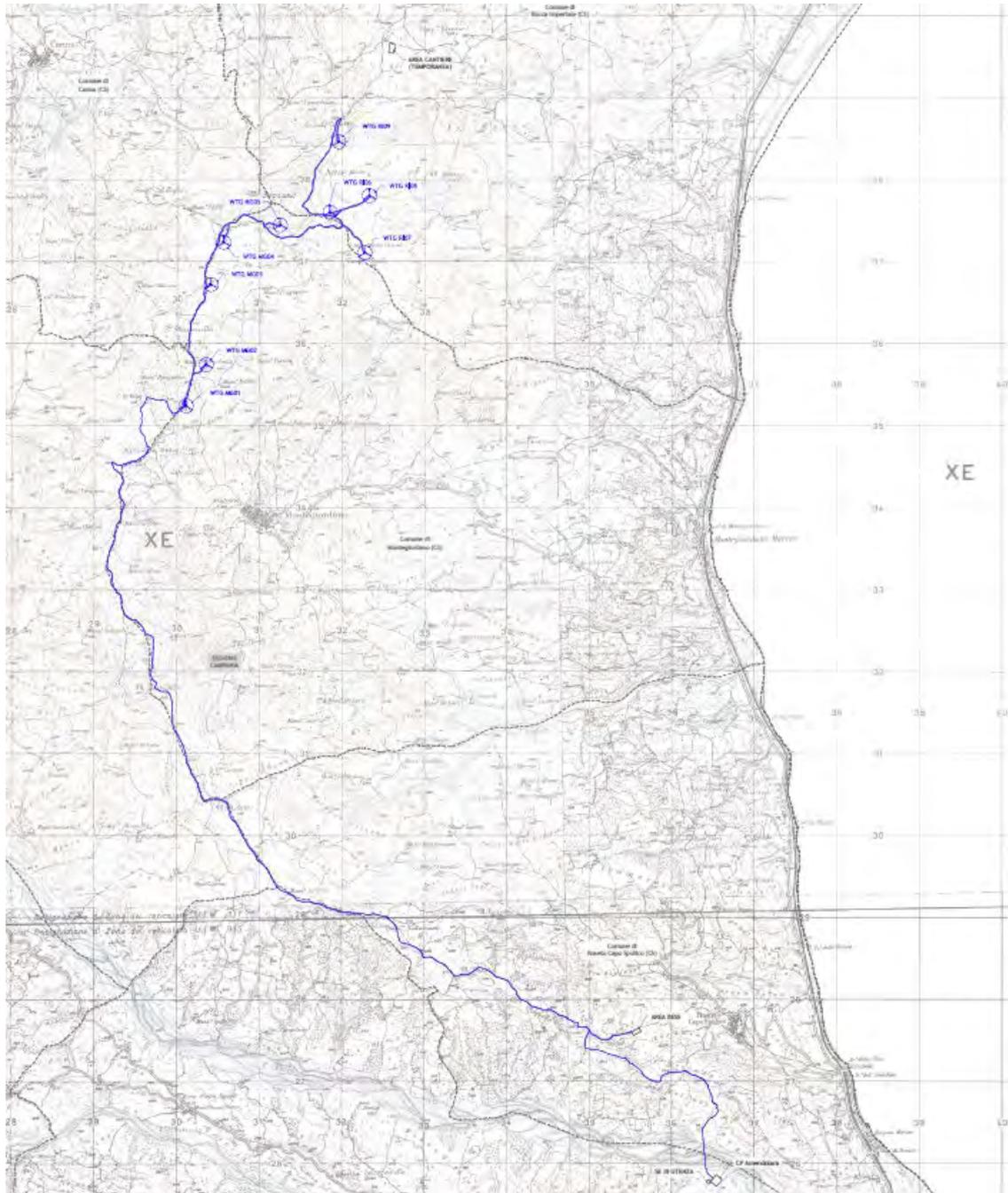
1.1 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di produzione energia rinnovabile da fonte eolica, costituito da n° 9 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 64,80 MW integrato con un sistema di accumulo di 20,00 MW, da realizzarsi nei Comuni di Rocca Imperiale (CS) e Montegiordano (CS), e relative opere di connessione ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna, Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara in provincia di Cosenza, da collegare alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. "Amendolara") con uno stallo a 150 kV, ubicata all'interno del comune di Amendolara.

Nello specifico, il progetto prevede:

- n. 9 aerogeneratori, ciascuno con potenza massima di 7,2 MW, rotore tripala a passo variabile, diametro massimo pari a 172 m e altezza complessiva massima fuori terra pari a 200 m;
- viabilità di accesso, con carreggiata di larghezza pari a 5,00 m;
- n. 9 piazzole di costruzione, necessarie per accogliere temporaneamente sia i componenti delle macchine che i mezzi necessari al sollevamento dei vari elementi. Tali piazzole, a valle del montaggio degli aerogeneratori, verranno ridotte e avranno una superficie tale da consentire le operazioni di manutenzione dell'impianto;
- rete di elettrodotto interrato di collegamento interno fra gli aerogeneratori;
- rete di elettrodotto interrato costituito da dorsali di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione Elettrica di Utenza;
- sistema di accumulo di energia a batterie (B.E.S.S.), comprensivo di elettrodotto di collegamento alla Stazione Elettrica di Utenza;
- Stazione Elettrica di Utenza, in cui è prevista la realizzazione di uno stallo di trasformazione, ubicata all'interno del comune Amendolara (CS);
- Impianto di Utenza per la Connessione, verrà realizzato tra la Stazione Elettrica di Utenza e la Cabina Primaria "Amendolara";
- impianto di rete per la connessione, sarà ubicato all'interno della esistente Cabina Primaria "Amendolara" nel comune di Amendolara (CS);
- area di cantiere.

Si riporta, di seguito, uno stralcio della corografia di inquadramento:



Corografia di inquadramento con individuazione dell'impianto eolico e delle opere connesse in esame

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nei Fogli n. 212 (Montalbano Ionico) e n. 222 (Amendolara) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, nei Fogli n. 523 (Rotondella) e n. 535 (Trebisacce) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 e nei quadranti n. 212-III-NE (Rocca Imperiale) – n. 212-III-NO (Nova Siri) – n. 212-III-SO (Montegiordano) – n. 222-IV-NO (Albidona) – n. 222-IV-NE (Amendolara) della carta IGM in scala 1: 25.000.

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (UOM Regionale Calabria e interregionale Lao Ex Adb Regione Calabria).

1.2 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

L'indagine è stata articolata, previa consultazione del progetto, nelle seguenti fasi:

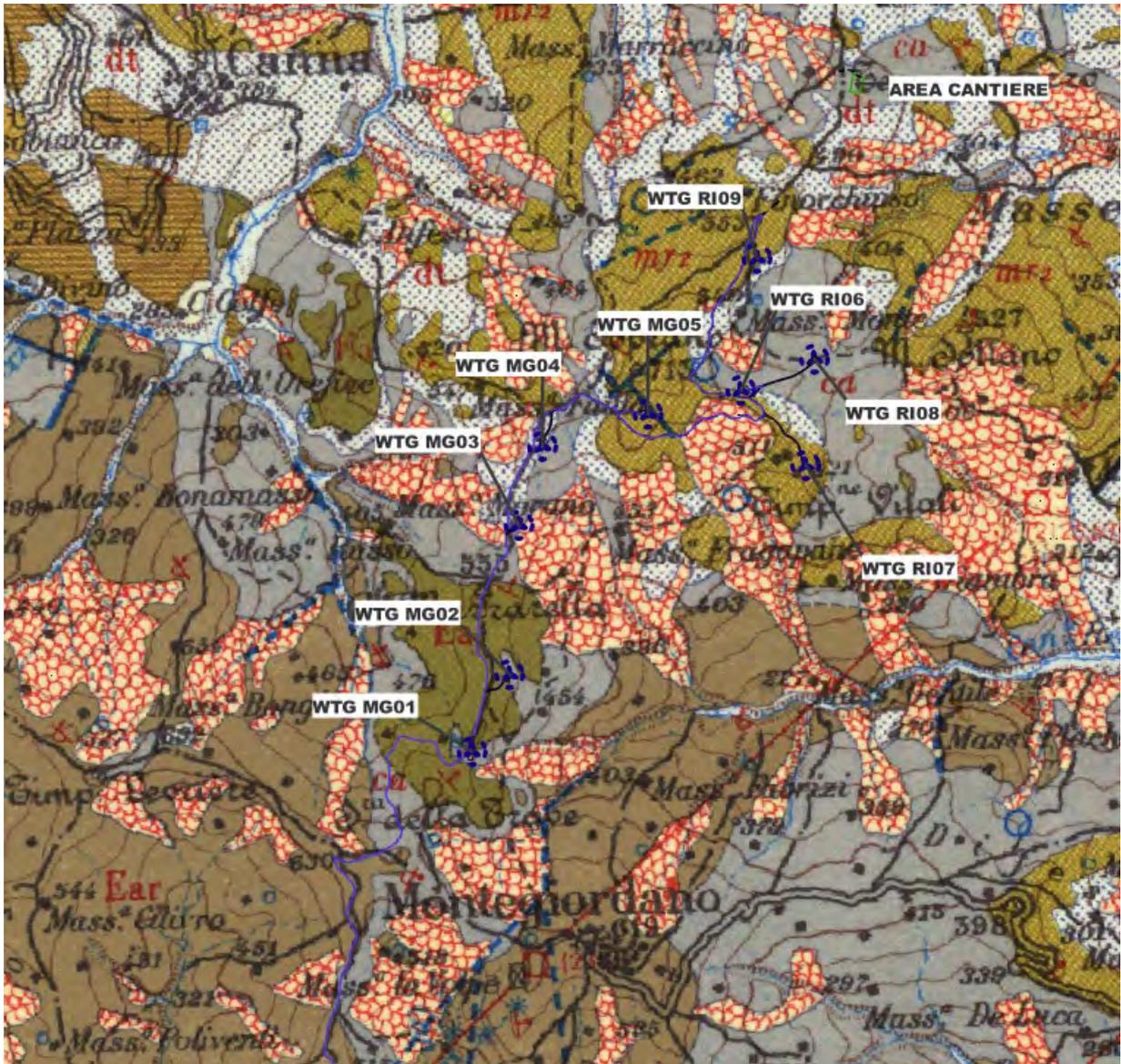
- Rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie integrato dalla lettura delle carte geologiche presenti in bibliografia
- Analisi della cartografia a corredo del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (carta degli scenari di rischio)
- Reperimento e interpretazione di una serie di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche eseguite nelle aree ricadenti nelle zone che ospiteranno l'impianto eolico in esame e raccolta di dati bibliografici

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

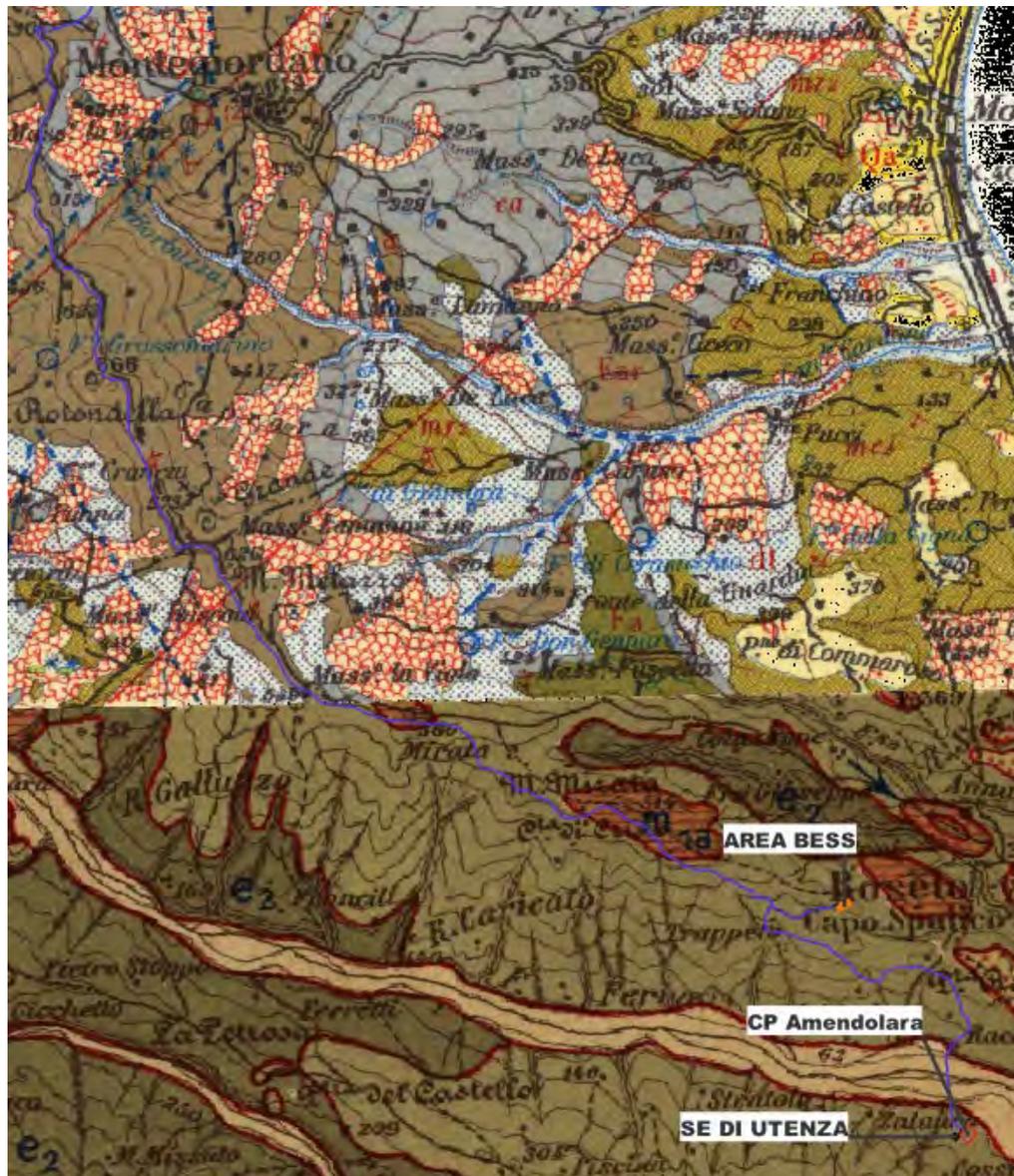
1.3 GEOLOGICO E STRUTTURALE

Al fine di una più immediata comprensione dei caratteri litologici delle unità geologiche affioranti nel territorio studiato, è stato effettuato un inquadramento geologico-strutturale preliminare a scala regionale.

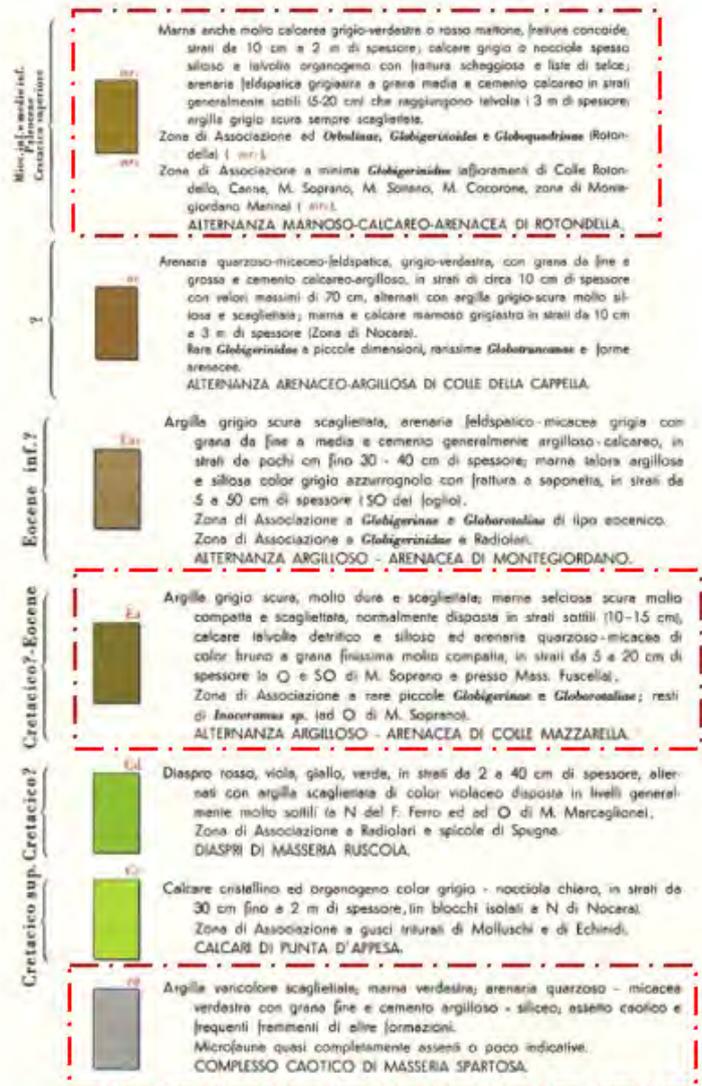
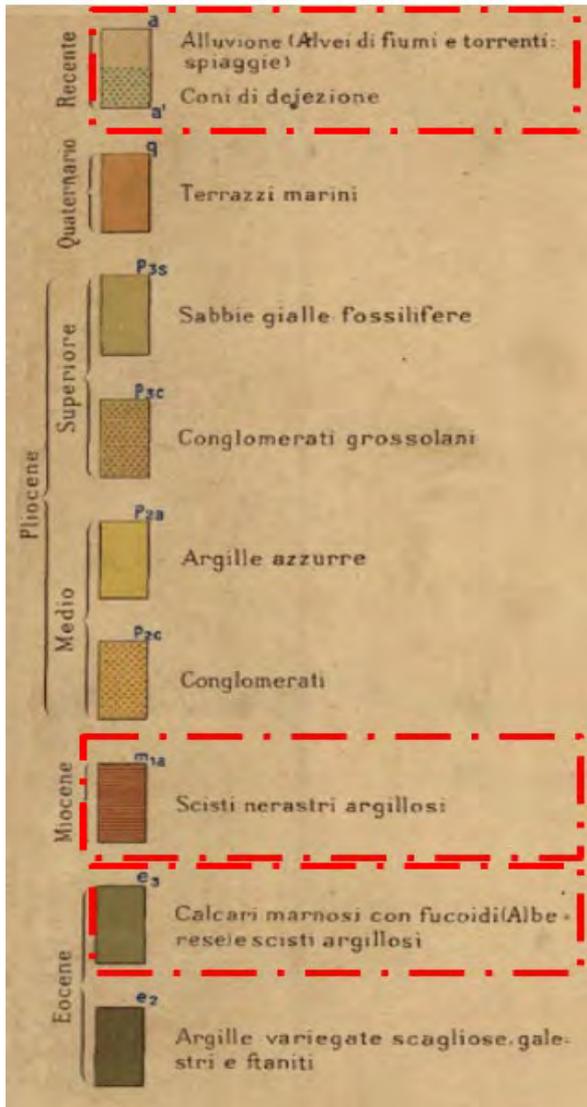
In particolare, l'area in esame ricade nei Fogli n. 212 (Montalbano Ionico) e n. 222 (Amendolara) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, nei Fogli n. 523 (Rotondella) e n. 535 (Trebisacce) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000.



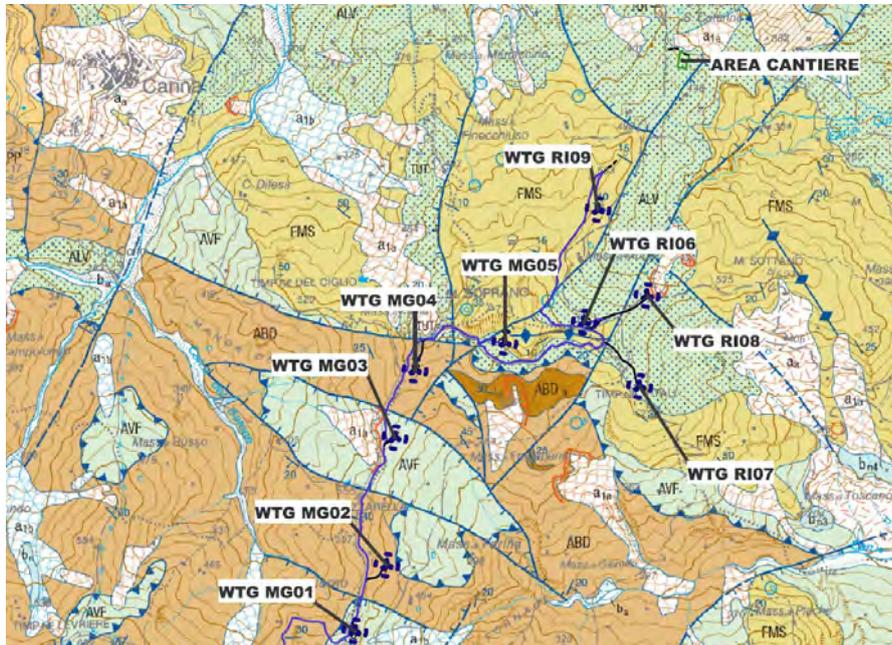
Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:100.000 Foglio n. 212 (Montalbano Ionico) con indicazione dell'area in esame



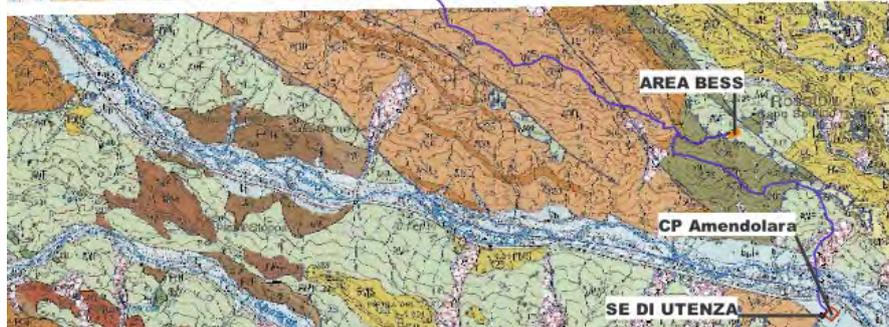
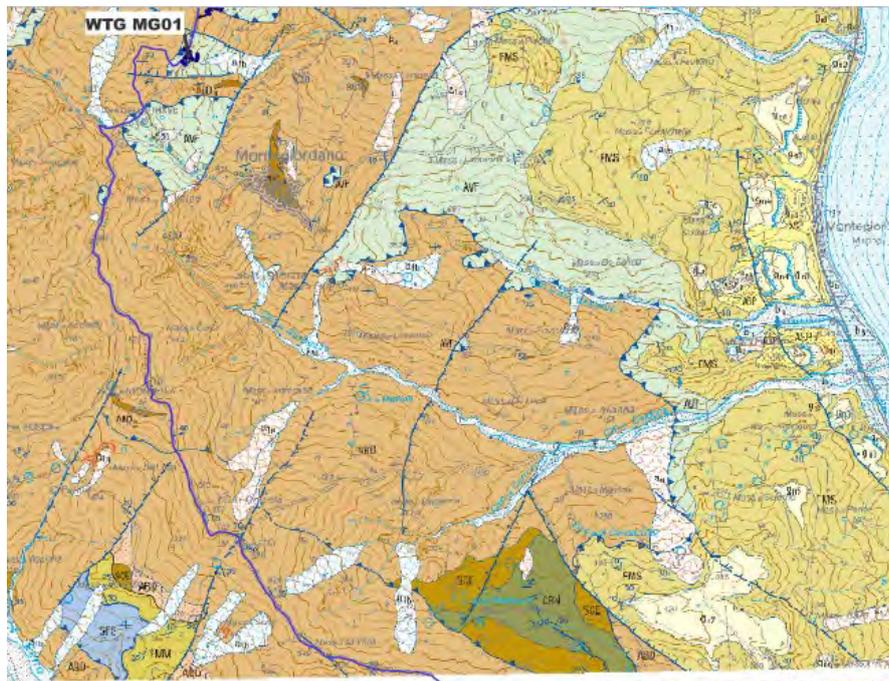
Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:100.000 Foglio n. 222 (Amendolara) con indicazione dell'area in esame



Legenda Carta Geologica d'Italia 1:100.000
 Foglio Foglio n. 212 (Montalbano Ionico) Foglio n. 222 (Amendolara) con indicazione dell'area in esame



Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio n.523 (Rotondella) con indicazione area in esame



Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio n.535 (Trebisacce) con indicazione area in esame

Cretacico Sup.**(ca) – (Cavidotto-Aerogeneratori WTGMG01-WTGMI02-WTGMI03-WTGMI-04-WTGRI06-WTGRI08)***Complesso caotico di Masseria Ruscola*

Argille varicolori scagliettate, marne verdastre, arenarie quarzoso micacee.

Carta Geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 222 (Amendolara)**Olocene****(a) – (Cavidotto)**

Alluvioni sabbioso ghiaiose

Miocene**(m1a) – (Cavidotto)**

Scisti nerastri argillosi

Eocene**(e3) – (Cavidotto-Area BESS-stazione di utenza-CP Amendolara)**

Calcari marnosi e scisti argillosi

Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Foglio 523 (Rotondella) – Foglio 535 (Trebisacce)**Pleistocene Medio -Olocene****(a1a) – Depositi di frana**Accumuli gravitativi caotici ed eterometrici ed eterogenei a granulometria sabbioso ghiaiosa. **(porzione di cavidotto)****(ba) – Deposito alluvionale attuale**Ghiaie poligeniche, sabbie e limi argillosi. **(porzione di cavidotto)****(bb) – Deposito alluvionale recente**Limi e sabbie grigio bruno, passati a ghiaie in matrice argilloso sabbiosa. **(porzione di cavidotto – Stazione elettrica di utenza-CP Amendolara)****Cretacico-Miocene Inf.****(AV) – Gruppo delle argille variegata****Argille varicolori inferiori (AVF) – (Aerogeneratori WTG MG01-WTG MG03 - porzione di cavidotto- Area Bess)**

Si tratta di argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate con lenti di calcilutiti silicee, di calcari marnosi, di arenarie e di siltiti manganesefere.

Lo spessore apparente dell'unità, malgrado la caoticità, è stimabile tra 100 e 200 m.

Formazione di Monte Sant'Arcangelo (FMS) – (Aerogeneratori WTG MG05- WTG RI09 - porzione di cavidotto)

Trattasi di un'alternanza ciclica di calcari marnosi grigi o biancastri a frattura concoide, in strati da pochi centimetri fino a diversi metri, di argille grigio- verdastre o bruno-rossastre, di calcareniti intraclastiche laminate grigie a frattura prismatica di spessore

centimetrico e di subordinate areniti calciclastiche gradate, di colore grigio-verde.

Argille varicolori superiori (ALV) – (Aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI08 – porzione di cavidotto)

L'unità è costituita da prevalenti argille marnose policrome, con intercalazioni di calcari marnosi a fratturazione prismatica, grigi al taglio e giallo-avana sulle superfici di alterazione, potenti 20-40 cm, e di calcareniti e brecciole.

Miocene Inf.

(ABD) – Formazione di Albidona

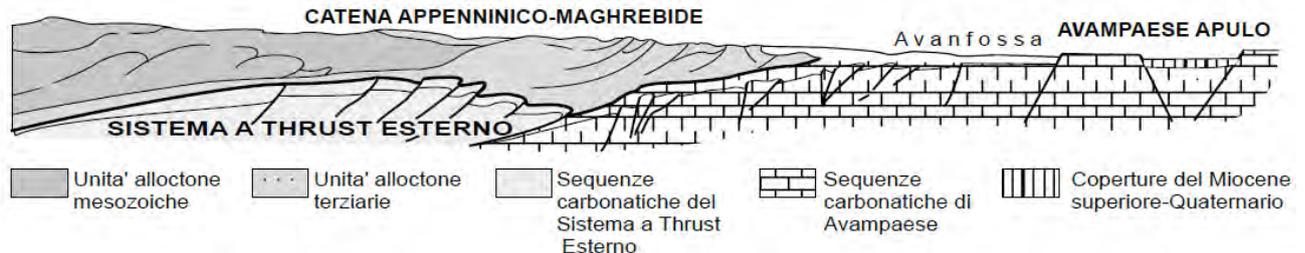
Formazione di Albidona (ABD) – (Aerogeneratori WTG MG02 – WTG MG04 – porzione di cavidotto)

Unità litologica costituita da un'alternanza di areniti torbiditiche e di peliti ed argille siltose, cui si intercalano livelli da decimetrici a mega strati di marne calcaree biancastre e di conglomerati silicoclastici a elementi cristallini.

Formazione delle Crete Nere (CNR) - (porzione di cavidotto)

Trattasi di torbiditi distali di ambiente marino profondo, costituite da quarzareniti fini grigio-verdi in strati medio-spessi, alternate ad argilliti grigio-verdastre o bluastre in strati medio-sottili.

Dal punto di vista geologico-strutturale, le unità affioranti nell'area in esame appartengono alla Catena Appenninica s.s. e cioè ad un sistema a thrust pellicolare, originatosi a partire dall'Oligocene superiore ed attualmente sovrapposto su orizzonti estesi dal Messiniano al Pleistocene inferiore delle successioni carbonatiche della "Piattaforma" Apula.



Domini strutturali dell'orogene Appenninico-Maghrebide e loro geometrie, attraverso un profilo schematico orientato SO-NE nell'Appennino meridionale

Nell'area in esame affiorano soltanto unità della Catena Appenninica s.s. e le coperture plio-pleistoceniche.

La Catena Appenninica è formata da numerose coltri in sovrapposizione tettonica, completamente scollate dagli originari basamenti ed attualmente in ricoprimento sul substrato carbonatico apulo.

Questo edificio si è originato a partire dall'Oligocene superiore e coinvolge successioni sedimentarie meso-cenozoiche riferibili a diversi domini paleogeografici. In posizione strutturalmente più elevata affiorano costantemente unità caotiche, a volte ofiolitifere, di derivazione interna (complessi Liguride e Sicilide Auctt.). Di esse soltanto le Sicilidi si estendono fino al fronte estremo della catena. Il complesso delle unità caotiche poggia su unità tettoniche a giacitura più regolare, contraddistinte da successioni meso-cenozoiche sia di mare basso (Piattaforma interna o appenninica) che di bacino oceanico (Complesso Lagonegrese Auctt.). Queste ultime erano state attribuite al paleomargine continentale afro-adriatico immediatamente adiacente alle aree dell'attuale avampaese (scandone et alii, 1974; ogniben, 1975). Il riconoscimento nel sottosuolo del Sistema a Thrust Esterno ha messo in luce che le successioni appenniniche esterne non erano adiacenti al margine dell'avampaese afro-adriatico, attualmente in affioramento, ma che l'originario margine dei bacini "esterni", come quello lagonegrese, si troverebbe sepolto in corrispondenza dell'attuale costa tirrenica. I caratteri stratigrafici delle successioni meso-cenozoiche delle unità esterne della Catena Appenninica, la natura e l'estensione areale delle relative coperture del Miocene inferiore e la loro posizione strutturale consentono una netta differenziazione dalle unità del Sistema a Thrust Esterno.

Alle unità della Catena Appenninica appartengono potenti successioni flyschoidi sin- e tardorogene di età miocenica. Su queste affiorano ulteriori depositi terrigeni del Miocene superiore e plio-pleistocenici, coevi alla deformazione in profondità del Sistema a Thrust Esterno.

Nel complesso la Catena Appenninica deriva dallo scollamento delle coperture sedimentarie della Tetide Alpina e dello Ionio (Finetti et alii, 1996, 2005) con l'interposizione della Piattaforma Appenninica, originariamente poste tra il margine afro-adriatico ed il margine europeo.

Nella'area in esame affiorano le unità tettoniche Silentina e l'unità tettonica Sicilide.

▪ **Unità tettonica Silentina**

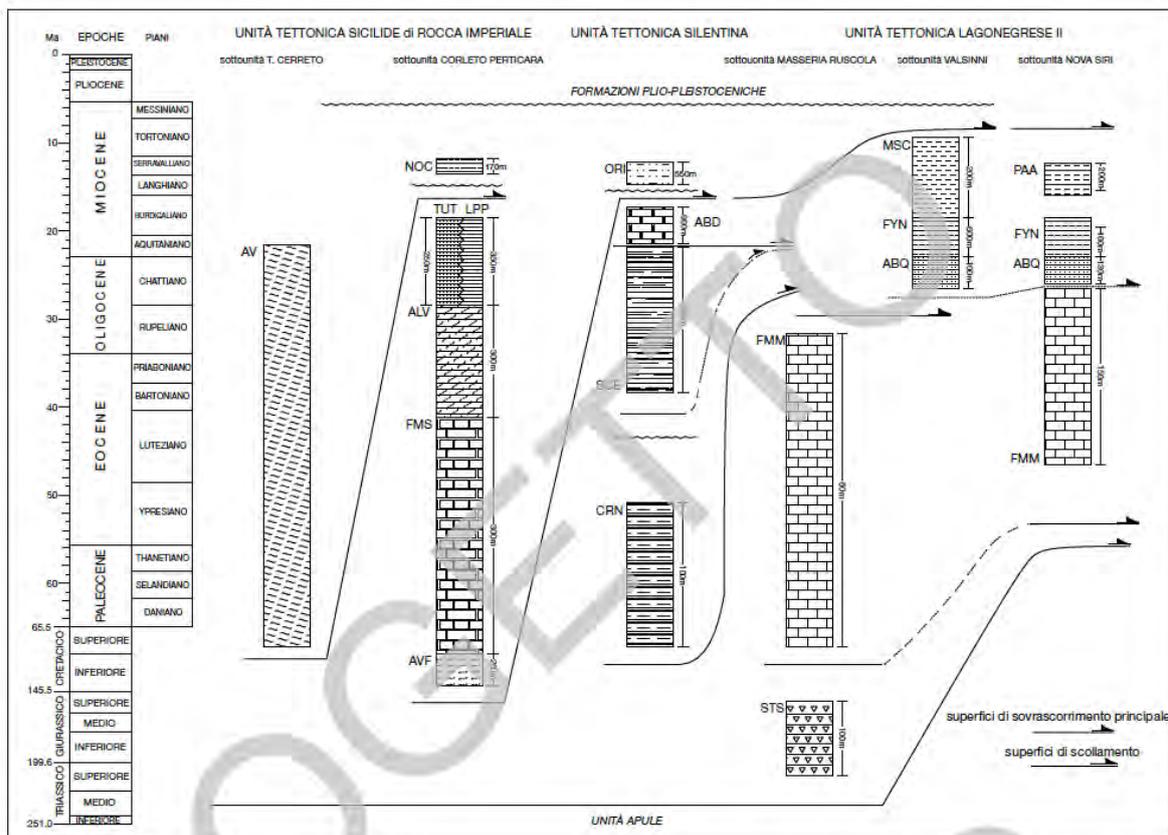
L'unità tettonica Silentina è costituita da una potente successione silicoclastica costituita dal basso verso l'alto dalle formazioni delle Crete Nere, del Saraceno e di Albidona, di età Cretacico-Miocene inferiore.

Essa è caratterizzata da un'alternanza di arenarie grigio-ocree a grana fine in strati da sottili a medi e di marne, marne argillose ed argille siltose grigie con lenti di calcari marnosi e di marne calcaree in grossi banchi. Le arenarie hanno grana fine e generalmente non sono classate.

▪ **Unità tettonica Sicilide**

Tale unità si caratterizza per la presenza di terreni argillosi ed argilloso-calcarei, noti in letteratura come "Argille scagliose" o "Argille varicolori".

Essa è costituita da terreni di età Cretacico inferiore-Miocene inferiore, rappresentati dal basso in alto da: argille varicolori cretache dalla formazione di Monte Sant'Arcangelo (Cretacico superiore-Eocene), passanti ad argille varicolori (Eocene-Oligocene), e dalle Tufiti di Tusa (Oligocene superiore-Miocene inferiore), eteropiche della formazione di Colle della Cappella.



Schema cronostratigrafico delle unità tettoniche presenti nel Foglio "Rotondella"

e loro ruolo nell'evoluzione geodinamica dell'Appennino meridionale .

2.1 GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO

Dalla disamina della carta geologica in scala 1:50.000 – Foglio n. 523 (Rotondella) – Foglio n. 535 (Trebisacce) e dal rilevamento geologico eseguito in fase di sopralluogo, si evince che l'impianto eolico e le relative opere connesse attraversano sostanzialmente depositi per lo più coesivi che consistono in una monotona successione di argille marnose policrome, con intercalazioni di calcari marnosi, argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate e calcari marnosi grigi e argille grigio- verdastre o bruno-rossastre, di calcareniti intraclastiche laminate grigie.

In particolare:

- **Gli aerogeneratori WTG MG01-WTG MG03** poggiano su argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate con lenti di calcilutiti silicee, di calcari marnosi, di arenarie e di siltiti manganesifere.
- **Gli aerogeneratori WTG MG05- WTG RI09** poggiano su calcari marnosi grigi o biancastri con intercalazioni di argille grigio- verdastre o bruno-rossastre e calcareniti intraclastiche laminate grigie.
- **Gli aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI08** poggiano su argille marnose policrome, con intercalazioni di calcari marnosi e calcareniti e brecciole.
- **Gli aerogeneratori WTG MG02 – WTG MG04** poggiano su depositi costituiti da un'alternanza di areniti torbiditiche e di peliti ed argille silteose, cui si intercalano livelli da decimetrici a mega strati di marne calcaree biancastre e di conglomerati silicoclastici a elementi cristallini.

In allegato si riporta lo stralcio della carta geologica con individuazione dell'impianto eolico in esame.

2.2 GEOMORFOLOGICO

Per caratterizzare in chiave geomorfologica l'area che sarà interessata dall'impianto eolico, è stato condotto uno studio dei caratteri geomorfologici a più ampia scala, così da mettere in evidenza i processi morfoevolutivi che interessano il territorio in esame.

L'aspetto morfologico, come ogni altro luogo, è direttamente influenzato da diversi fattori che concorrono all'alterazione, disgregazione e demolizione dei materiali affioranti.

I fattori principali sono il clima (piovosità, venti dominanti, ecc.), l'esposizione rispetto al Nord, la presenza di vegetazione e l'azione antropica (urbanizzazione, scavi, riperti).

Questi agiscono, in maniera più o meno importante e quasi sempre in concomitanza, sui terreni che offrono una minore o maggiore resistenza; la natura litologica, la stratificazione e la consistenza dei terreni agisce da controllo sull'evoluzione morfologica, determinandone la velocità d'avanzamento.

I futuri aerogeneratori si collocano lungo una dorsale collinare Serra della Trave - Monte Soprano - Cozzale Zarubbo a quote comprese tra i 545 e 600 metri s.l.m., separate da un reticolo dendritico di valli fluviali piuttosto ampie.

In conseguenza dell'assetto orografico, i corsi d'acqua del territorio hanno carattere torrentizio con piene impetuose, capaci di trasportare grandi volumi di materiale solido.

Essi sono contraddistinti da un letto a canali intrecciati sviluppatosi in valli fortemente sovralluvionate e a bassa inclinazione del profilo longitudinale.

Le valli si presentano relativamente ampie per i fiumi principali, ristrette con fianchi debolmente acclivi nelle aree centro meridionali, dove le aste fluviali modellano i terreni prevalentemente terrigeni, o carbonatici sicilidi (Formazione di Monte Sant'Arcangelo); si allargano in corrispondenza delle aree di affioramento delle litologie argillose e sabbiose.

I rilievi collinari presentano morfologie varie e sono formati da terreni che, per caratteristiche meccaniche intrinseche, assetto strutturale o per le ripetute deformazioni paleo e neotettoniche, posseggono una particolare predisposizione al dissesto

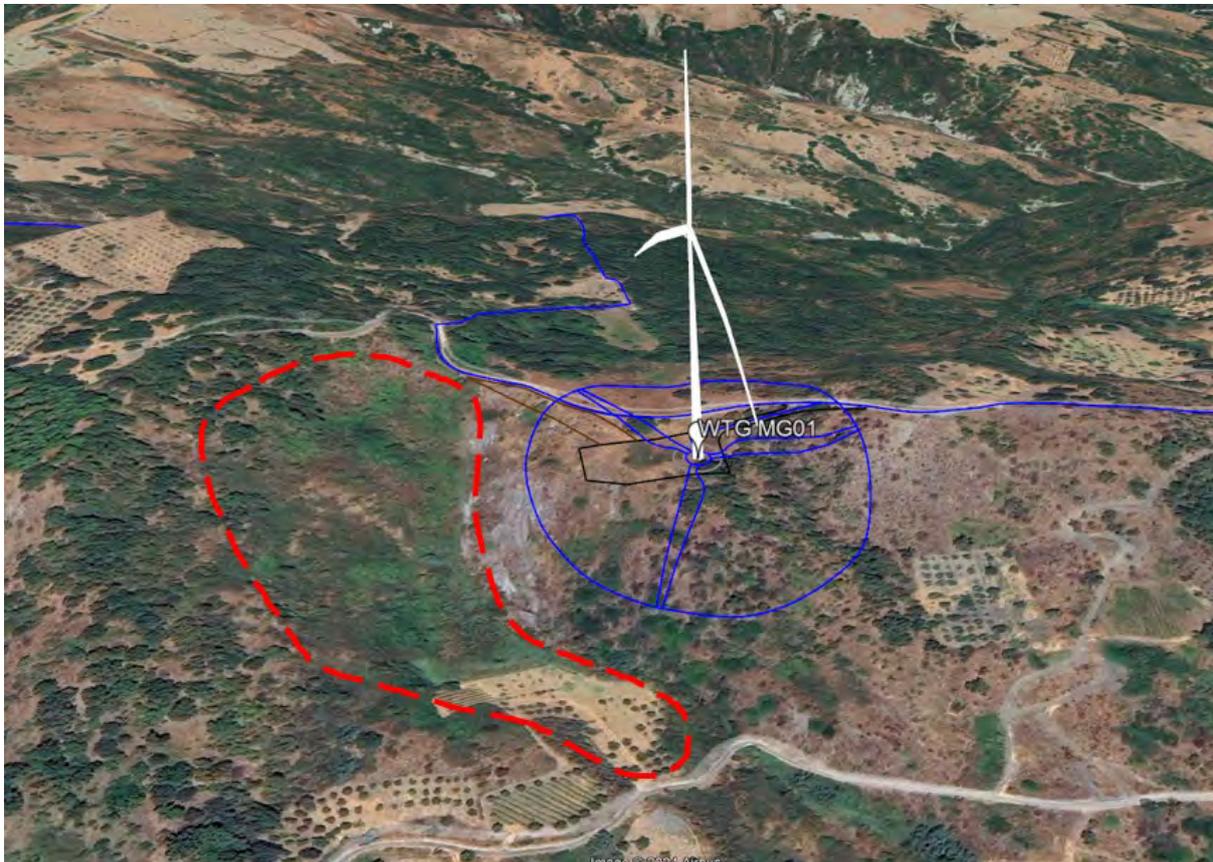
geomorfologico e idrogeologico.

In particolare hanno ampia diffusione nel territorio le formazioni terrigene e calcaree delle unità sicilidi e silentine, alle quali si contrappongono terreni, più o meno estesi arealmente, sia a dominante argillosa che sabbioso-conglomeratica delle successioni plio-quadernarie.

In particolare gli aerogeneratori WTG MG 01 – WTG MG02 – WTG MG 03 – WTG MG 04 e WTG MG 05 si collocano lungo il versante orientale della dorsale collinare Serra della Trave – Colle Mazzarella – Monte Soprano alle quote rispettivamente di 541, 505, 522 e 587, 607 metri sul livello del mare..

Il versante in esame sostanzialmente si presenta stabile e si sviluppa in direzione est con pendenze dell'ordine dei 9°-10°.

Si sottolinea la presenza di un movimento gravitativo di tipo "scorrimento rotazionale" a sud dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore ad una distanza di circa 70 metri.



Aerogeneratore WTG MG 01 con indicazione movimento gravitativo di tipo "scorrimento rotazionale"

Gli aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI 08 e WTG RI 09 si collocano lungo il versante Cozzale Zarubbo alle quote di 585, 509, 535 e 535 metri sul livello del mare. Tale versante si presenta stabile con pendenze dell'ordine dei 5°-6° ed è disseccato nella sua porzione centrale da una serie di incisioni che convergono nel "Canale Cupo che defluisce in direzione nord est nello Ionio. Ciò nonostante, le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da forme di dissesto molteplici che in tutti i casi si sviluppano lungo le aree a margine delle zone in studio.

Generalmente tali deformazioni si concentrano in corrispondenza delle incisioni torrentizie che attraversano i versanti in esame. Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche con una attenta valutazione della stabilità dei versanti che bordano le aree di impianto di tutti gli aerogeneratori, per una corretta progettazione di eventuali opere di contenimento.

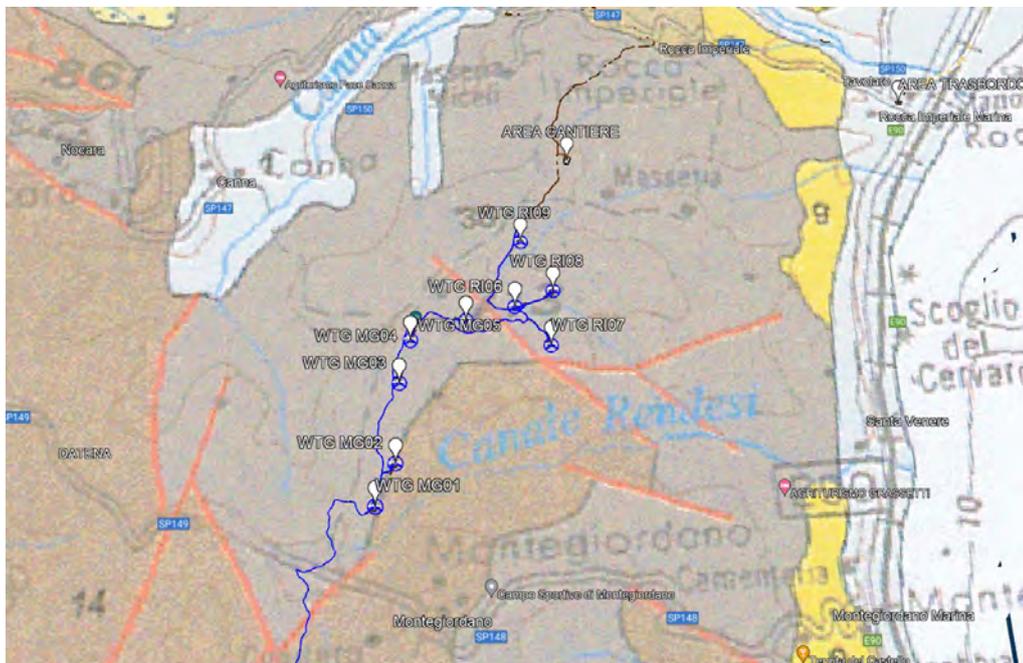
2.3 IDROGEOLOGICO

Per quanto attiene l'idrogeologia dei terreni caratterizzanti l'area di studio si ritiene che la conducibilità idrica sia nettamente differente a seconda della litologia considerata, ovvero, i terreni costituenti sono dotati di caratteristiche idrogeologiche piuttosto differenziate in rapporto alla composizione granulometrica, alla porosità, al grado di addensamento ed alla fratturazione.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame non risultano molto differenti in ragione/conseguenza del fatto che, l'area in esame, si contraddistingue per la presenza di depositi sostanzialmente poco permeabili, caratterizzati dalla presenza di depositi coesivi a granulometria argilloso limosa con intercalazioni di livelli e banchi rocciosi di natura calcareo marnosa, marnosa ed arenacea.

Tali depositi impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo generalmente possibile solo una modesta circolazione idrica, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale.

Di seguito si riporta lo stralcio della carta idrogeologica dell'Italia Meridionale con l'ubicazione dell'area in esame con relativa legenda.



Stralcio Carta Idrogeologica d'Italia Meridionale con indicazione dell'area interessata dalla realizzazione degli aerogeneratori

COMPLESSI DELLE UNITA' DI BACINO INTERNE

33	<p>Complesso metapelitico-metacalcareo dell'Unità del Frido: Costituito da metapelliti, metacalcari e subordinatamente quarziti. La presenza cospicua dei termini pelitici, nonché l'elevato stato di deformazione, impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo possibile generalmente solo la formazione di una modesta circolazione sotterranea, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale; solo in alcuni intervalli di metacalcari si può manifestare una circolazione relativamente più profonda e cospicua.</p>
34	<p>Complesso ofiolitico dell'Unità del Frido: Costituisce la parte bassa dell'Unità del Frido, è costituito da un melange inglobante olistoliti, anche di grandi dimensioni, di rocce basiche ed ultrabasiche, gneiss a granato ed anfiboliti, che localmente possono costituire dei piccoli acquiferi fessurati, discontinui, e di importanza locale.</p>
35	<p>Complesso calcareo-argillitico dell'Unità Nord-calabrese: Successioni torbiditiche prevalentemente distali, costituite da alternanze ritmiche calcareo-pelitiche (Formazione del Saraceno) e prevalentemente argillitiche e quarzitiche (Formazione delle Crete Nere). La presenza cospicua dei termini pelitici, nonché l'assetto strutturale contorto, impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo generalmente possibile solo la formazione di una modesta circolazione, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale; solo in alcuni intervalli quarzitici della Formazione delle Crete Nere si può manifestare una circolazione relativamente più profonda e cospicua.</p>
36	<p>Complesso argilloso-calcareo delle Unità Sicilidi: Complesso a prevalente composizione argillitica, con colorazione caratteristicamente variegata, con termini litoidi prevalentemente calcarei e calcareo-mamosi, inglobati caoticamente (Argille Varicolori); termini litologici equivalenti sono presenti in sequenze meno caoticizzate nel Flysch Rosso. Per il comportamento eminentemente plastico questi terreni si ritrovano nei bassi topografici, dove, se in contatto con strutture idrogeologiche carbonatiche, possono costituire la cintura impermeabile degli stessi.</p>

Legenda Carta Idrogeologica d'Italia Meridionale

2.4 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (UoM Regionale Calabria e interregionale Lao – ex AdB reg. Calabria).

In particolare, dalla consultazione della cartografia tematica è emerso che l'impianto eolico non ricade in nessuna area interessata da rischio idrogeologico e/o pericolosità da frana.

Per quanto riguarda le opere accessorie si evidenzia solamente che un piccolo tratto di cavidotto che attraversa un'area cartografata come "area di attenzione" (Art. 24 Norme di Attuazione).

In allegato si riporta uno stralcio della cartografia tematica con individuazione delle opere in esame.

3 MODELLAZIONE SISMICA

3.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le norme per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del O.P.C.M. 3274 e Decreto 14 settembre 2005), avevano suddiviso il territorio nazionale in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale erano riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella che segue:

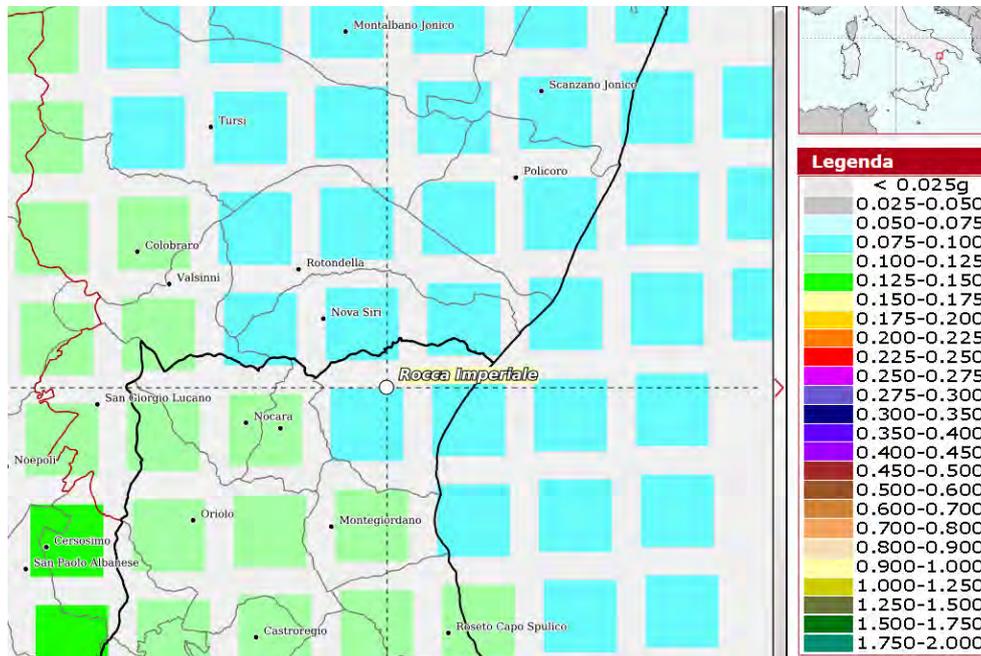
Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

I Comuni di Rocca Imperiale e Montegiordano, in corrispondenza dei quali sorgeranno i futuri aerogeneratori, con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 47 del 10.02.2004 vennero classificato di **categoria 2**.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 e ancor prima del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Quindi per la stima della pericolosità sismica di base, si determinano le coordinate geografiche del sito di interesse, si sceglie la maglia di riferimento, e si ricavano i valori dei parametri spettrali come media pesata dei valori corrispondenti ai vertici della maglia (forniti in allegato al D.M. 17.01.2018), moltiplicati per le distanze dal punto.

Le nuove Norme Tecniche per le costruzioni del 2008 forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di a_g , T_r , F_0 e T_c da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con $V_s > 800$ m/sec.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).



Mapa di pericolosità sismica e relativa legenda per il comune di Rocca Imperiale

(<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)



Mapa di pericolosità sismica e relativa legenda per il comune di Montegiordano

(<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Secondo la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, per il sito in esame l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico a_g varia tra 0,050a 0,075 g espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La disaggregazione dei valori di a_g con la medesima probabilità di eccedenza, mostra come il contributo percentualmente maggiore alla pericolosità sismica di base nella parte centrale del territorio interessato dalla realizzazione degli aerogeneratori WTG MG 01 – 02 – 03 – 04 e 05 e delle opere connesse sia determinato da sismi con **magnitudo massima pari a 6.58** con epicentri individuati ad

una distanza media maggiore di 50 km, mentre il territorio interessato dalla realizzazione degli aerogeneratori WTG RI 06 – 07 – 08 – 09 e delle opere connesse sia determinato da sismi con **magnitudo massima pari a 6.59** con epicentri individuati ad una distanza media maggiore di 55 km.

L'azione sismica sulle costruzioni viene dunque valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A nelle NTC). La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Come anzi detto, essa, in un generico sito viene descritta 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 definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: a_g accelerazione orizzontale massima del terreno; 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 ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,

F_0 e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento, previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare: la vita di riferimento V_R della costruzione, le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , associate a ciascuno degli stati limite considerati. Si possono così individuare, partendo dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

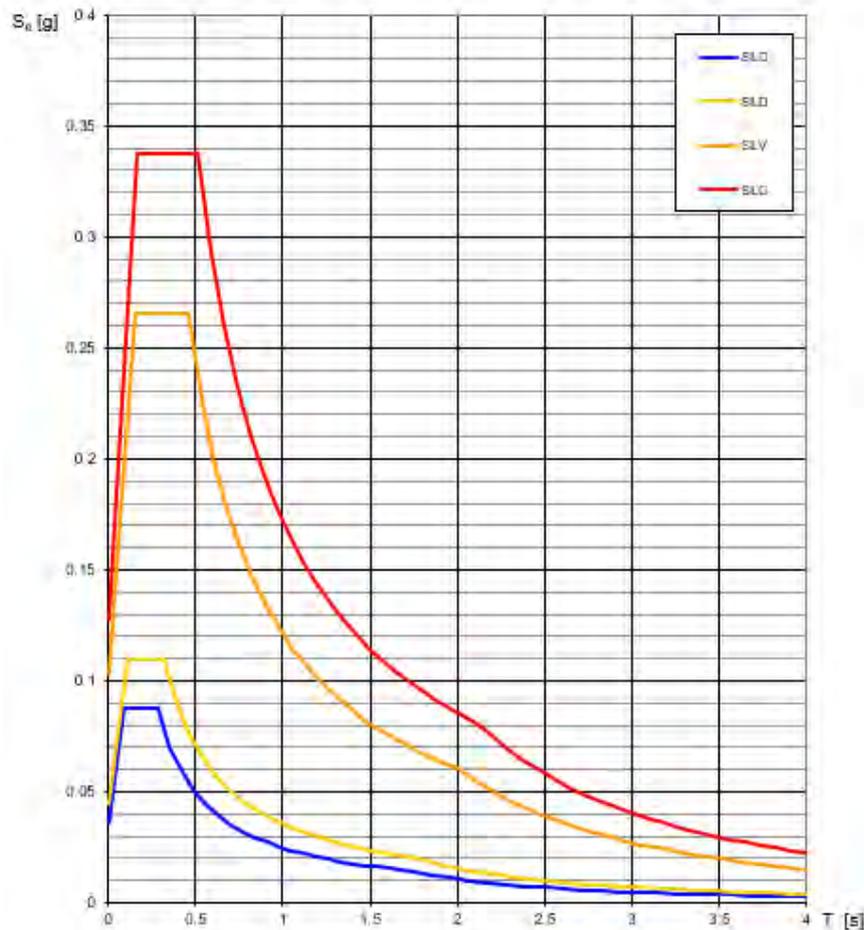
Considerando che lo sviluppo complessivo dell'impianto eolico e delle opere connesse appartengono alla categoria sismica C e alla categoria topografica T1, si riportano i valori di tali parametri ai vari stati limite previsti dalla normativa (SLO stato limite di operatività, SLD stato limite di danno, SLV stato limite di salvaguardia della vita, SLC stato limite di prevenzione del collasso).

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.036	2.422	0.282
SLD	50	0.045	2.444	0.322
SLV	475	0.103	2.590	0.455
SLC	975	0.128	2.641	0.508

Gli stessi valori sono di seguito riportati sotto forma di grafico

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Grafici spettri di risposta per i diversi stati limite

3.2 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DERIVANTI DA INDAGINI PREGRESSE

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state prese in considerazione alcune indagini sismiche reperite ed eseguite in aree prospicienti il sito in esame.

Dall'analisi dei risultati emerge che le velocità delle onde di taglio sono compatibili con le litologie presenti.

Di seguito si riportano i risultati di un'indagine sismica Masw presa in considerazione:

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	4.70	195	0.0241
4.70	11.80	228	0.0311
11.80	17.50	258	0.0221
17.50	18.80	205	0.0063
18.80	23.40	460	0.0100
23.40	35.00	673	0.0172

Tabella delle velocità rilevate dal MASW

3.3 ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Per la definizione della azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. Qualora, come nel caso in questione, tali studi non siano disponibili, si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta nelle NTC 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni". La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$.

Pertanto il valore del parametro $V_{S,eq}$ è stato calcolato con la formula seguente come previsto dalla norma:

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

Dall'analisi delle indagini è emerso che i terreni appartengono alla categoria di sottosuolo sismico C.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c')^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c')^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c')^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c')^{-0,40}$

3.4 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La norma citata, per la risposta sismica del sito, stabilisce 4 categorie, in relazione alle caratteristiche topografiche dell'area in esame. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se presentano altezze maggiori di 30 m. L'area in studio si estende nell'ambito di un contesto geomorfologico piuttosto articolato con valori di pendenza compresi tra 5° e 10° , quindi il coefficiente da adottare è quello relativo alla categoria T1.

4 MODELLAZIONE GEOTECNICA

Dalle conoscenze pregresse e dal modello geologico risultante dell'area di studio si è proceduto ad analizzare una serie di indagini eseguite nel corso degli anni in aree limitrofe al sito in esame e su terreni con caratteristiche simili.

In particolare, sono state consultate una serie di indagini geognostiche in sito e prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nell'ambito delle stesse formazioni geologiche che caratterizzano l'intero impianto eolico.

Inoltre, la massiccia raccolta di dati bibliografici rappresentativi dell'area in esame e delle principali litologie affioranti ha rappresentato un valido e ulteriore strumento per la definizione dei parametri geotecnici locali.

Le aree di sedime sulle quali verranno ubicate le opere in progetto sostanzialmente sono riconducibili a depositi sostanzialmente coesivi costituiti da alternanze ripetute di argille limose da poco consistenti a consistenti, talora scagliose e calcari marnosi, marne e argilliti presenti sia sottoforma di livelli e banchi che presenti in maniera diffusa sottoforma di inclusi litici eterometrici nell'ambito del deposito.

In sintesi vengono riportate le tabelle con i parametri geotecnici medi rappresentativi delle formazioni presenti lungo l'intero impianto eolico e le opere connesse.

LITOLOGIE INDIVIDUATE	Peso di volume naturale g/cm ³	Angolo di attrito Picco (°)	Coesione drenata Kg/cm ²
(a1a) – Depositi di frana Accumuli gravitativi caotici ed eterometrici ed eterogenei a granulometria sabbioso ghiaiosa. <i>(porzione di cavidotto)</i>	1.70	28	0.00
(ba) – Deposito alluvionale attuale Ghiaie poligeniche, sabbie e limi argillosi. <i>(porzione di cavidotto)</i>	1.80	26.00	0.00
(bb) – Deposito alluvionale recente Limi e sabbie grigio bruno, passati a ghiaie in matrice argilloso sabbiosa <i>(porzione di cavidotto – Stazione elettrica di utenza-CP Amendolara)</i>	1.60	27.00	0.00
Argille varicolori inferiori (AVF) Si tratta di argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate con lenti di calcilutiti silicee, di calcari marnosi, di arenarie e di siltiti manganesifere. <i>(Aerogeneratori WTG MG01-WTG MG03 - porzione di cavidotto- Area Bess)</i>	2.00	22.00	0.10
Formazione di Monte Sant'Arcangelo (FMS) Calcari marnosi e argille grigio- verdastre con calcareniti laminate grigie e di subordinate areniti calciclastiche gradate, di colore grigio-verde. <i>(Aerogeneratori WTG MG05- WTG RI09 - porzione di cavidotto)</i>	2.10	33.00	0.00
Argille varicolori superiori (ALV) Argille marnose con intercalazioni di calcari marnosi, calcareniti e brecciole. <i>(Aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI08 - porzione di cavidotto)</i>	2.00	20.00	0.10
Formazione di Albidona (ABD) Alternanze di areniti torbiditiche e di peliti ed argille siltose, con intercalazioni di livelli di marne calcaree e conglomerati. <i>(Aerogeneratori WTG MG02 – WTG MG04 – porzione di cavidotto)</i>	2.00	34.00	0.00
Formazione delle Crete Nere (CNR) - Quarzareniti fini in strati medio-spessi, alternate ad argilliti grigio-verdastre o bluastre in strati medio-sottili. <i>(porzione di cavidotto)</i>	2.30	35.00	0.00

4.1 STABILITÀ DELL'AREA

Dal punto di vista della stabilità dell'area, la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche dell'area, è quindi in relazione a parametri quali la litologia, l'angolo di attrito interno, il contenuto d'acqua, la coesione, la giacitura dei terreni e, soprattutto, la pendenza dei versanti dove essi affiorano.

In particolare, dal rilevamento geologico e geomorfologico eseguito in fase di sopralluogo si evince che gli aerogeneratori in esame si collocano lungo una dorsale collinare Serra della Trave - Monte Soprano - Cozzale Zarubbo a quote comprese tra i 545 e 600 metri s.l.m., separate da un reticolo dendritico di valli fluviali piuttosto ampie.

Tali rilievi sono formati da terreni che, per caratteristiche meccaniche intrinseche, assetto strutturale o per le ripetute deformazioni paleo e neotettoniche, posseggono una particolare predisposizione al dissesto geomorfologico e idrogeologico.

Ciò nonostante le arre di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori attualmente si presentano stabili; si sottolinea solamente la presenza di un movimento gravitativo di tipo "scorrimento rotazionale" a sud dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore ad una distanza di circa 70 metri.

Pertanto, le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da alcune forme di dissesto che in tutti i casi si sviluppano lungo aree a margine delle zone in studio.

Generalmente tali deformazioni si concentrano in corrispondenza delle incisioni torrentizie che attraversano i versanti in esame.

Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche con una attenta valutazione della stabilità dei versanti che bordano le aree di impianto di tutti gli aerogeneratori, per una corretta progettazione di eventuali opere di contenimento.

4.2 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

dove:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza "τ" si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) c = 0;

b) ($\sigma_{v0} - u$) = 0;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione "c=0" non può ovviamente verificarsi).

La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

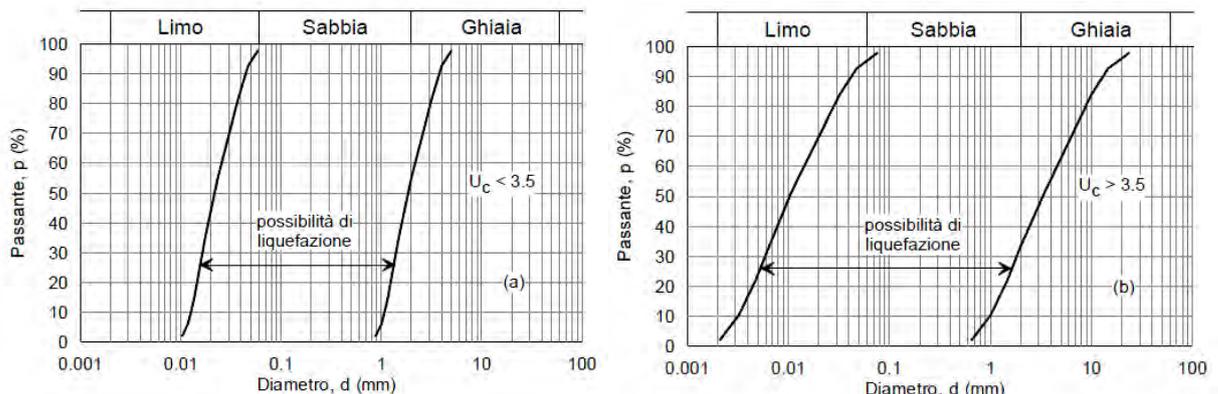
La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producono un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Il D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), richiede di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nel sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione

in caso di sisma.

Nelle stesse NTC è riportato che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Alla luce di queste considerazioni, dall'analisi di tutti i dati esaminati è emerso che i terreni che costituiscono l'area in esame sono riconducibili a litologie per lo più coesive a granulometria principalmente argilloso limosa con intercalazioni di livelli rocciosi, quindi si può escludere la possibilità che questi terreni possano essere soggetti a fenomeni di liquefazione in caso di evento sismico seppur in presenza di falda.

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Scopo del presente documento è la redazione della relazione geologica e geotecnica, finalizzata all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione e all'esercizio di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Rocca Imperiale" costituito da n° 9 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 64,80 MW integrato con un sistema di accumulo di 20,00 MW, da realizzarsi nei Comuni di Rocca Imperiale (CS) e Montegiordano (CS), e delle relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili, da realizzarsi nei comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna, Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara in provincia di Cosenza, da collegare alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. "Amendolara") con uno stallo a 150 kV, ubicata all'interno del comune di Amendolara.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di produzione energia rinnovabile da fonte eolica, costituito da n° 9 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 64,80 MW integrato con un sistema di accumulo di 20,00 MW, da realizzarsi nei Comuni di Rocca Imperiale (CS) e Montegiordano (CS), e relative opere di connessione ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Rocca Imperiale, Montegiordano, Canna, Oriolo, Roseto Capo Spulico e Amendolara in provincia di Cosenza, da collegare alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. "Amendolara") con uno stallo a 150 kV, ubicata all'interno del comune di Amendolara.

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nei Fogli n. 212 (Montalbano Ionico) e n. 222 (Amendolara) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, nei Fogli n. 523 (Rotondella) e n. 535 (Trebisacce) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 e nei quadranti n. 212-III-NE (Rocca Imperiale) – n. 212-III-NO (Nova Siri) – n. 212-III-SO (Montegiordano) – n. 222-IV-NO (Albidona) – n. 222-IV-NE (Amendolara) della carta IGM in scala 1: 25.000.

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (UOM Regionale Calabria e interregionale Lao Ex Adb Regione Calabria).

Dalla disamina della carta geologica in scala 1:50.000 – Foglio n. 523 (Rotondella) – Foglio n. 535 (Trebisacce) e dal rilevamento geologico eseguito in fase di sopralluogo, si evince che l'impianto eolico e le relative opere connesse attraversano sostanzialmente depositi per lo più coesivi che consistono in una monotona successione di argille marnose policrome, con intercalazioni di calcari marnosi, argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate e calcari marnosi grigi e argille grigio-verdastre o bruno-rossastre, di calcareniti intraclastiche laminate grigie.

In particolare:

- Gli aerogeneratori WTG MG01-WTG MG03 poggiano su argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate con lenti di calcilutiti silicee, di calcari marnosi, di arenarie e di siltiti manganesifere.
- Gli aerogeneratori WTG MG05- WTG RI09 poggiano su calcari marnosi grigi o biancastri con intercalazioni di argille grigio-verdastre o bruno-rossastre e calcareniti intraclastiche laminate grigie.
- Gli aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI08 poggiano su argille marnose policrome, con intercalazioni di calcari marnosi e calcareniti e brecciole.
- Gli aerogeneratori WTG MG02 – WTG MG04 poggiano su depositi costituiti da un'alternanza di areniti torbiditiche e di peliti ed argille silteose, cui si intercalano livelli da decimetrici a mega strati di marne calcaree biancastre e di conglomerati silicoclastici a elementi cristallini.

Dal punto di vista geomorfologico, i futuri aerogeneratori si collocano lungo una la dorsale collinare Serra della Trave - Monte Soprano - Cozzale Zarubbo a quote comprese tra i 545 e 600 metri s.l.m., separate da un reticolo dendritico di valli fluviali piuttosto ampie.

I rilievi collinari presentano morfologie varie e sono formati da terreni che, per caratteristiche meccaniche intrinseche, assetto strutturale o per le ripetute deformazioni paleo e neotettoniche, posseggono una particolare predisposizione al dissesto geomorfologico e idrogeologico.

In particolare gli aerogeneratori WTG MG 01 – WTG MG02 – WTG MG 03 – WTG MG 04 e WTG MG 05 si collocano lungo il versante orientale della dorsale collinare Serra della Trave – Colle Mazzarella – Monte Soprano alle quote rispettivamente di 541, 505, 522 e 587, 607 metri sul livello del mare..

Il versante in esame sostanzialmente si presenta stabile e si sviluppa in direzione est con pendenze dell'ordine dei 9°-10°.

Si sottolinea la presenza di un movimento gravitativo di tipo "scorrimento rotazionale" a sud dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore ad una distanza di circa 70 metri.

Gli aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI 08 e WTG RI 09 si collocano lungo il versante Cozzale Zarubbo alle quote di 585, 509, 535 e 535 metri sul livello del mare. Tale versante si presenta stabile con pendenze dell'ordine dei 5°-6° ed è disseccato nella sua porzione centrale da una serie di incisioni che convergono nel "Canale Cupo che defluisce in direzione nord est nello Ionio. Ciò nonostante, le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da forme di dissesto molteplici che in tutti i casi si sviluppano lungo le aree a margine delle zone in studio.

Generalmente tali deformazioni si concentrano in corrispondenza delle incisioni torrentizie che attraversano i versanti in esame. Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche con una attenta valutazione della stabilità dei versanti che bordano le aree di impianto di tutti gli aerogeneratori, per una corretta progettazione di eventuali opere di contenimento.

Per quanto attiene l'idrogeologia dei terreni caratterizzanti l'area di studio si ritiene che la conducibilità idrica sia nettamente differente a seconda della litologia considerata, ovvero, i terreni costituenti sono dotati di caratteristiche idrogeologiche piuttosto differenziate in rapporto alla composizione granulometrica, alla porosità, al grado di addensamento ed alla fratturazione.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame non risultano molto differenti in ragione/conseguenza del fatto che, l'area in esame, si contraddistingue per la presenza di depositi sostanzialmente poco permeabili, caratterizzati dalla presenza di depositi coesivi a granulometria argilloso limosa con intercalazioni di livelli e banchi rocciosi di natura calcareo marnosa, marnosa ed arenacea.

Tali depositi impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo generalmente possibile solo una modesta circolazione idrica, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale.

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (UoM Regionale Calabria e interregionale Lao – ex AdB reg. Calabria).

In particolare, dalla consultazione della cartografia tematica è emerso che l'impianto eolico non ricade in nessuna area interessata da rischio idrogeologico e/o pericolosità da frana.

Per quanto riguarda le opere accessorie si evidenzia solamente che un piccolo tratto di cavidotto che attraversa un'area cartografata come "area di attenzione" (Art. 24 Norme di Attuazione).

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state prese in considerazione alcune indagini sismiche reperite ed eseguite in aree prospicienti il sito in esame.

Dall'analisi delle indagini è emerso che i terreni appartengono alla categoria di sottosuolo sismico C.

Per la caratterizzazione geotecnica delle aree che ospiteranno l'impianto eolico sono state consultate una serie di indagini geognostiche in sito e prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nell'ambito delle stesse formazioni geologiche che caratterizzano l'intero impianto.

In particolare, sono state consultate una serie di indagini geognostiche in sito e prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nell'ambito delle stesse formazioni geologiche che caratterizzano l'intero impianto eolico.

Inoltre, la massiccia raccolta di dati bibliografici rappresentativi dell'area in esame e delle principali litologie affioranti ha rappresentato un valido e ulteriore strumento per la definizione dei parametri geotecnici locali.

Le aree di sedime sulle quali verranno ubicate le opere in progetto sostanzialmente sono riconducibili a depositi sostanzialmente coesivi costituiti da alternanze ripetute di argille limose da poco consistenti a consistenti, talora scagliose e calcari marnosi, marne

e argilliti presenti sia sottoforma di livelli e banchi che presenti in maniera diffusa sottoforma di inclusi litici eterometrici nell'ambito del deposito.

In sintesi vengono riportate le tabelle con i parametri geotecnici medi rappresentativi delle formazioni presenti lungo l'intero impianto eolico e le opere connesse.

LITOLOGIE INDIVIDUATE	<i>Peso di volume naturale g/cm³</i>	<i>Angolo di attrito Picco (°)</i>	<i>Coesione drenata Kg/cm²</i>
(a1a) – Depositi di frana Accumuli gravitativi caotici ed eterometrici ed eterogenei a granulometria sabbioso ghiaiosa. <i>(porzione di cavidotto)</i>	1.70	28	0.00
(ba) – Deposito alluvionale attuale Ghiaie poligeniche, sabbie e limi argillosi. <i>(porzione di cavidotto)</i>	1.80	26.00	0.00
(bb) – Deposito alluvionale recente Limi e sabbie grigio bruno, passati a ghiaie in matrice argilloso sabbiosa <i>(porzione di cavidotto – Stazione elettrica di utenza-CP Amendolara)</i>	1.60	27.00	0.00
Argille varicolori inferiori (AVF) Si tratta di argilliti rosse e verdi intensamente tettonizzate con lenti di calcilutiti silicee, di calcari marnosi, di arenarie e di siltiti manganesefere. <i>(Aerogeneratori WTG MG01-WTG MG03 - porzione di cavidotto- Area Bess)</i>	2.00	22.00	0.10
Formazione di Monte Sant'Arcangelo (FMS) Calcari marnosi e argille grigio- verdastre con calcareniti laminate grigie e di subordinate areniti calciclastiche gradate, di colore grigio-verde. <i>(Aerogeneratori WTG MG05- WTG RI09 - porzione di cavidotto)</i>	2.10	33.00	0.00
Argille varicolori superiori (ALV) Argille marnose con intercalazioni di calcari marnosi, calcareniti e brecciole. <i>(Aerogeneratori WTG RI06 – WTG RI07 – WTG RI08 - porzione di cavidotto)</i>	2.00	20.00	0.10
Formazione di Albidona (ABD) Alternanze di areniti torbiditiche e di peliti ed argille siltose, con intercalazioni di livelli di marne calcaree e conglomerati. <i>(Aerogeneratori WTG MG02 – WTG MG04 – porzione di cavidotto)</i>	2.00	34.00	0.00
Formazione delle Crete Nere (CNR) - Quarzareniti fini in strati medio-spessi, alternate ad argilliti grigio-verdastre o bluastre in strati medio-sottili. <i>(porzione di cavidotto)</i>	2.30	35.00	0.00

Dal punto di vista della stabilità dell'area, la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche dell'area, è quindi in relazione a parametri quali la litologia, l'angolo di attrito interno, il contenuto d'acqua, la coesione, la giacitura dei terreni e, soprattutto, la pendenza dei versanti dove essi affiorano.

In particolare, dal rilevamento geologico e geomorfologico eseguito in fase di sopralluogo si evince che gli aerogeneratori in esame si collocano lungo una dorsale collinare Serra della Trave - Monte Soprano - Cozzale Zarubbo a quote comprese tra i 545 e 600 metri s.l.m., separate da un reticolo dendritico di valli fluviali piuttosto ampie.

Tali rilievi sono formati da terreni che, per caratteristiche meccaniche intrinseche, assetto strutturale o per le ripetute deformazioni paleo e neotettoniche, posseggono una particolare predisposizione al dissesto geomorfologico e idrogeologico.

Ciò nonostante le arre di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori attualmente si presentano stabili; si sottolinea solamente la presenza di un movimento gravitativo di tipo "scorrimento rotazionale" a sud dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore ad una distanza di circa 70 metri.

Pertanto, le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da alcune forme di dissesto che in tutti i casi si sviluppano lungo aree a margine delle zone in studio.

Generalmente tali deformazioni si concentrano in corrispondenza delle incisioni torrentizie che attraversano i versanti in esame.

Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche con una attenta valutazione della stabilità dei versanti che bordano le aree di impianto di tutti gli aerogeneratori, per una corretta progettazione di eventuali opere di contenimento.

Per il fenomeno della liquefazione in caso di evento sismico, dall'analisi di tutti i dati esaminati è emerso che i terreni che costituiscono l'area in esame sono riconducibili a litologie per lo più coesive a granulometria principalmente argilloso limosa con intercalazioni di livelli rocciosi.

Pertanto, in questo primo approccio potrebbe escludersi la verifica a liquefazione in caso di evento sismico; ciò nonostante la possibilità o meno di esclusione verrà valutata caso per caso nelle successive fasi di progettazione.

In definitiva vista la morfologia, la strutturazione geologica dell'area in studio, si può asserire che questi offrono sufficienti garanzie ai fini della loro utilizzazione e quindi, tenuto conto di tutte le indicazioni riportate nella presente, non esiste alcuna controindicazione circa la fattibilità di quanto previsto nell'ipotesi progettuale.

Si rimanda alle fasi progettuali successive la predisposizione di una campagna geognostica puntuale atta a determinare i parametri geotecnici dei terreni che costituiranno fondazione delle opere.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Castel Morrone, 29/01/2024

Il Geologo,
 Dott. Antonio Petriccione

