

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

Progetto definitivo

Oggetto:

MOL1.55 – Relazione Geologica e Geotecnica

Proponente:



Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l
Viale Castro Pretorio, 122 (Roma)

Progettista:



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

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	01/03/2024	Prima Emissione	A.Santambrogio	M. Carnevale	G. Prosperi
01	22/03/2024	Integrati Commenti	A.Santambrogio	M. Carnevale	G. Prosperi
Fase progetto: Definitivo			Formato elaborato: A4		

Nome File: **MOL1.55.01 - Relazione Geologica-Geotecnica.docx**

Indice

1	PREMESSA	4
1.1	Descrizione del proponente	4
1.2	Contenuti della relazione	4
1.3	Bibliografia e normativa di riferimento	5
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3	INQUADRAMENTI TERRITORIALI	9
3.1	Inquadramento Geologico	9
3.2	Inquadramento Geomorfologico.....	11
3.3	Inquadramento Idrologico e Idrogeologico.....	12
3.4	Piano di Assetto Idrogeologico – PAI	13
3.5	Evidenze da sopralluogo in campo	15
	3.5.1 Contesto geologico di sito.....	16
	3.5.2 Verifica delle pericolosità idrogeologiche.....	18
4	INQUADRAMENTO SISMICO	20
4.1	Zone Sismogenetiche.....	21
4.2	Storia Sismica dell'area	23
4.3	Sismicità dell'area	23
	4.3.1 Effetti amplificazione topografica	24
	4.3.2 Categoria sismica dei terreni di fondazione.....	25
	4.3.3 Pericolosità sismica di base.....	25
4.4	Verifica a liquefazione	27
5	MODELLO GEOTECNICO.....	29
6	CONCLUSIONI.....	30

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto Energia Molise.....	6
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto delle opere elettriche connesse in progetto	8
Figura 3-1: inquadramento geologico su foglio "Larino" della carta geologica d'Italia, alla scala 1:100 000.....	11
Figura 3-2: inquadramento geomorfologico dell'area in esame	12
Figura 3-3: elementi idrologici dell'area in esame	13
Figura 3-4: valutazione delle condizioni di pericolosità idrogeologiche nel sito in esame.....	14
Figura 3-5: cinematismi di frana.....	15
Figura 3-6: morfologia tipica dell'area in studio. Punto foto a monte della postazione T7, direzione sud-ovest	16
Figura 3-7: affioramento del complesso flyschoidale del Miocene medio-inferiore; in rosso le tracce dei principali lineamenti strutturali.....	17
Figura 3-8: formazione di ristagni idrici e deflusso superficiale.....	18
Figura 3-9: formazione di ristagni idrici e deflusso superficiale.....	18
Figura 3-10: Osservazione del fenomeno di soliflusso, che influenza la stabilità delle opere con fondazioni superficiali	19
Figura 4-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo ag sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (http://esse1.mi.ingv.it/d2.html).....	21
Figura 4-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); in rosso l'ubicazione dell'area in studio	22
Figura 4-3: Serie storica dei sismi che hanno caratterizzato il territorio in studio	23
Figura 4-4: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali – Spettro di Progetto e relativi coefficienti.....	27

Indice delle tabelle

Tabella 2-1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione	8
Tabella 4-1: zone sismiche del territorio nazionale.....	20
Tabella 4-2: categoria di amplificazione topografica – NTC 2018.....	25
Tabella 4-3: Coefficienti sismici del punto di indagine.....	26
Tabella 4-4: Stabilità dei pendii e fondazioni – NTC 2018.....	26

Tabella 4-5: Coefficienti sismici per ciascun stato limite	27
--	----

1 PREMESSA

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Fred.Olsen Renewables Italy S.r.l. di redigere il progetto definitivo per la costruzione di un nuovo impianto eolico denominato "Energia Molise" ubicato nei comuni di Bonefro, Casacalenda, Ripabottoni, Sant'Elia a Pianisi, San Giuliano di Puglia, Santa Croce di Magliano e Rotello, in provincia di Campobasso, in Molise, costituito da 12 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,2 MW ciascuno e da un sistema integrato BESS da 14 MW in prelievo. Durante l'esercizio dell'impianto, verranno effettuate regolazioni di potenza sugli aerogeneratori tali da ridurre il valore al di sotto di quello nominale. Pertanto, tali regolazioni consentiranno di avere una potenza complessiva dell'impianto di 72 MW.

1.1 Descrizione del proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l., con sede legale in Roma (RM) Viale Castro Pretorio, 122. La società è soggetta all'Attività di Direzione e coordinamento di Fred. Olsen Renewables AS, controllata al 100% da Bonheur ASA, quotata alla Borsa Norvegese.

Fred. Olsen Renewables è una società che opera nel settore delle energie rinnovabili dalla metà degli anni '90. Al momento possiede e gestisce circa 800 MW di impianti eolici in esercizio in Norvegia, Svezia e UK e si sta saldamente consolidando anche nel mercato italiano dove ha l'obiettivo di sviluppare relazioni a lungo termine con le comunità e le parti interessate dai suoi progetti che intende portare avanti, costruire e gestire per l'intera vita utile.

1.2 Contenuti della relazione

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica e geotecnica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per la progettazione definitiva dell'impianto eolico ed è finalizzato a fornire una indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici e idrogeologici con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti ed una caratterizzazione di massima dei litotipi che verranno interessati dalle opere di fondazione per l'edificazione dell'impianto.

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

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

- Inquadramento del contesto geotecnico-strutturale.
- Assetto geomorfologico, idrologico e idrogeologico insieme ad una valutazione preliminare sulle condizioni di pericolosità dell'area.

- Inquadramento e caratterizzazione sismica dei terreni.
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante consultazione della letteratura disponibile.

1.3 Bibliografia e normativa di riferimento

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

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

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

- Modelli Geotecnici 1D e/o 2D per i comuni di San Giuliano di Puglia, Bonefro, Ripabottoni, Colletorto e Santa Croce di Magliano; Progetto S3-Task 3; INGV.
- Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo di San Giuliano di Puglia; A. D'Onofrio, C. Vitone, F. Cotecchia, R. Puglia, F. S. de Magistris, F. Silvestri; Rivista Italiana di Geotecnica 3/2009;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in cui sarà ubicato il parco eolico in oggetto, denominato Energia Molise, è collocato nei comuni di Bonefro, Casacalenda, Ripabottoni, Sant'Elia a Pianisi, San Giuliano di Puglia, San Croce di Magliano e Rotello nella provincia di Campobasso, in Molise.



Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto Energia Molise

L'impianto eolico Energia Molise è situato in una zona prevalentemente collinare caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 670 m.s.l.m.

Gli aerogeneratori di progetto ricadono all' interno di:

- Bonefro – foglio catastale 15, 17, 24;
- Casacalenda – foglio catastale 68;
- Ripabottoni – foglio catastale 4, 5, 6, 13;
- Sant'Elia a Pianisi – foglio catastale 11;
- San Giuliano di Puglia – foglio catastale 5, 14.

In Figura 2-2 sono riportati gli inquadramenti territoriali su ortofoto rispettivamente degli aerogeneratori e delle opere elettriche connesse in progetto.

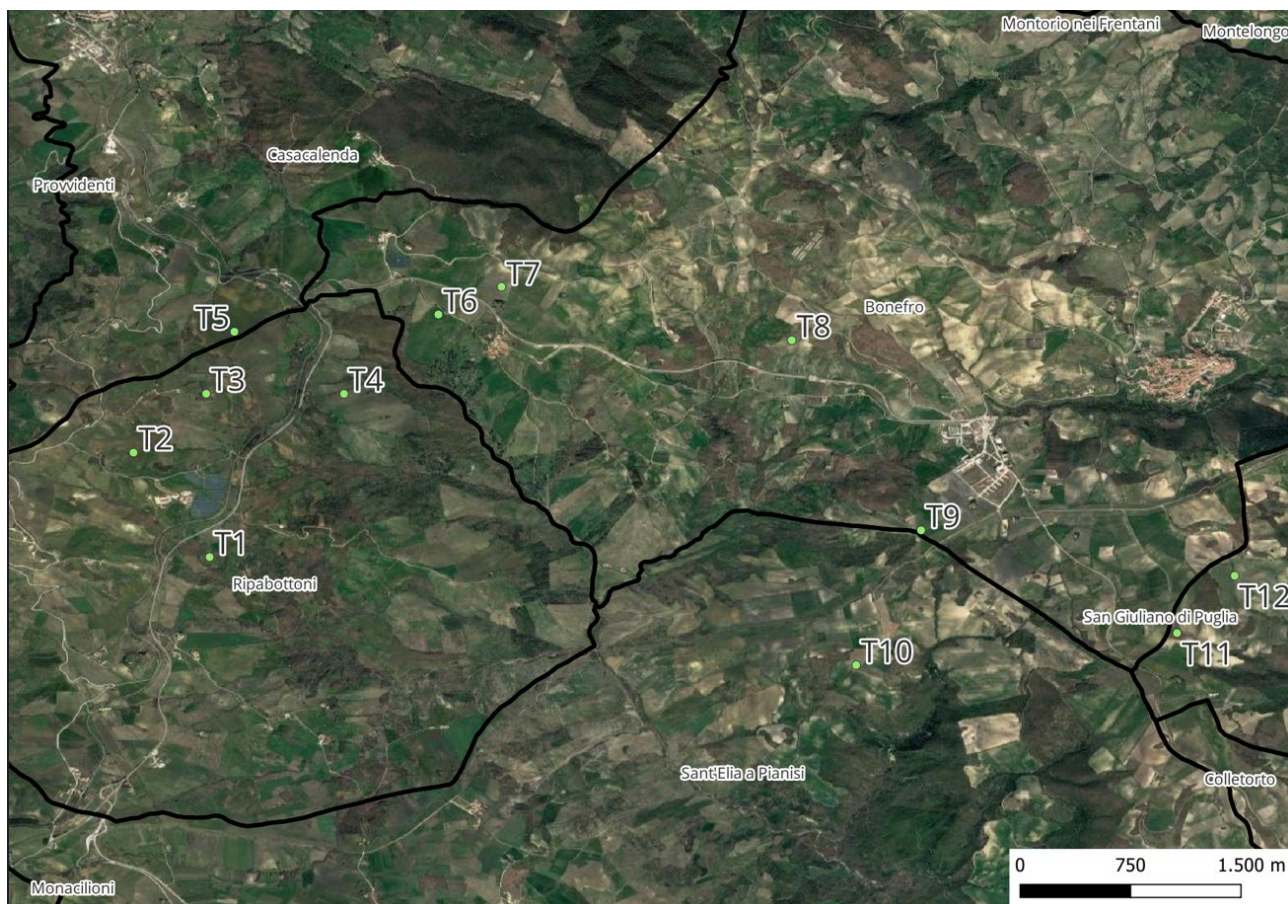




Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto delle opere elettriche connesse in progetto

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

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

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]
T1	Ripabottoni	487896	4615248
T2	Ripabottoni	487381	4616195
T3	Ripabottoni	487875	4616727
T4	Ripabottoni	488810	4616724
T5	Casacalenda	488067	4617288
T6	Bonefro	489452	4617442
T7	Bonefro	489880	4617692
T8	Bonefro	491849	4617206
T9	Bonefro	492725	4615485
T10	Sant'Elia a Pianisi	492283	4614265
T11	San Giuliano di Puglia	494461	4614553
T12	San Giuliano di Puglia	494852	4615071

3 INQUADRAMENTI TERRITORIALI

3.1 Inquadramento Geologico

L'area del sito è collocata all'interno del contesto geologico dell'appennino Molisano che, a sua volta, è parte di una più ampia catena (la catena appenninica meridionale) caratterizzata da una struttura a falde di ricoprimento di tipo "thrust and fold belt", tipica delle catene monovergenti, con direzione del trasporto orogenetico verso i quadranti nordorientali. Tale catena deriva dalla deformazione compressiva, realizzatasi durante il Miocene ed il Pliocene, del Margine continentale apulo-adriatico sviluppatosi a partire dal Trias e costituito da un'alternanza di piattaforme carbonatiche e bacini profondi.

Le aree della porzione mediana ed esterna della catena appenninica molisana fanno graduale passaggio, verso la costa, ad un settore prevalentemente occupato da successioni di Avana fossa plio-pleistocenica e le successioni costituite da depositi continentali quaternari riferibili a differenti ambienti deposizionali.

L'area si presenta dalla struttura geologica complessa ed eterogenea, costituita per la maggior parte da termini flyschoidi (Figura 3-1) riconducibili al Flysch di Agnone (Messiniano), affiorante al confine con l'area "Alto Molise", e alla Formazione di Faeto (Tortoniano- Serravalliano). Dal punto di vista strutturale il complesso delle formazioni affioranti nell'area è interessato da una serie di pieghe successive, ad assi ravvicinati, più o meno paralleli, generalmente secondo la direzione appenninica (NO – SE).

Di seguito si riporta una descrizione delle litologie affioranti nell'area in esame; a causa dell'estrema variabilità delle unità litologiche si è deciso di suddividere l'areale di impianto in 2 zone principali:

a) Area territoriale tra i comuni di Provvidenti, Bonefro e Ripabottoni.

In tale zona sono ubicati gli aerogeneratori da T1 a T7; qui affiorano principalmente terreni appartenenti a unità stratigrafico-strutturali dell'appennino sannita e molisano, in particolare il Complesso Sicilide e Unità Irpine. Il primo complesso è caratterizzato dalle:

Argille Varicolari (Paleogene): Elemento predominante è una argilla, spesso qualche migliaio di metri, alla cui costituzione, oltre ai minerali argillosi, partecipano una mica di tipo sericitico ed, inoltre, quarzo e carbonati. Colorazione variabile ma con predominanza del grigio. Altra caratteristica rilevabile macroscopicamente è la "scagliosità" che interessa la massa argillosa. Si è potuto stabilire che più è presente la scagliosità più è possibile che possano essere interessati da franosità. Spesso tali argille inglobano di frequente tipi litologici diversi anche se come estensione limitati, ricordiamo arenarie in forma lenticolare e calcari biancastri in strati di spessore modesto.

Le unità Irpine invece sono per lo più terreni associabili a formazioni carbonatiche di seguito descritte:

Calcari detritici, brecce calcaree (Oligocene sup. – Miocene inf.): Si tratta di alternanze di calcari detritici finissimi, brecce calcaree e calcari compatti. In qualche punto, assume un aspetto massivo, ma che di regola è ben stratificato in strati di diversi centimetri o in banchi di oltre un metro di spessore.

Complesso calcareo (Miocene medio): Si tratta di alternanze in calcareniti compatti, brecciati e selciferi e arenarie, marne ed argille.

b) Area territoriale tra i comuni di Bonefro e San Giuliano di Puglia.

In tale zona sono ubicati gli aerogeneratori da T8 a T12; qui affiorano principalmente:

Unità di Toppo Capuana (Tortoniano): costituita prevalentemente da argille marnose grigio azzurre e da marne argillose. La parte sommitale di tale formazione, di spessore limitato (generalmente inferiore a 10 m) è caratterizzata da un grado di fessurazione da medio a intenso e si presenta alterata assumendo una colorazione avana o grigio avana. Le argille avana sfumano nelle sottostanti argille marnose e marne argillose grigie, che si presentano meno fratturate e costituite da livelli più argillosi ai quali sono intercalati strati di marne argillose dure.

Flysch di Faeto (Miocene Inferiore): formazione litoide costituita da un'alternanza di calcari detritici, calcari marnosi, marne bianche e argille che si presenta in affioramento molto tettonizzata e smembrata.

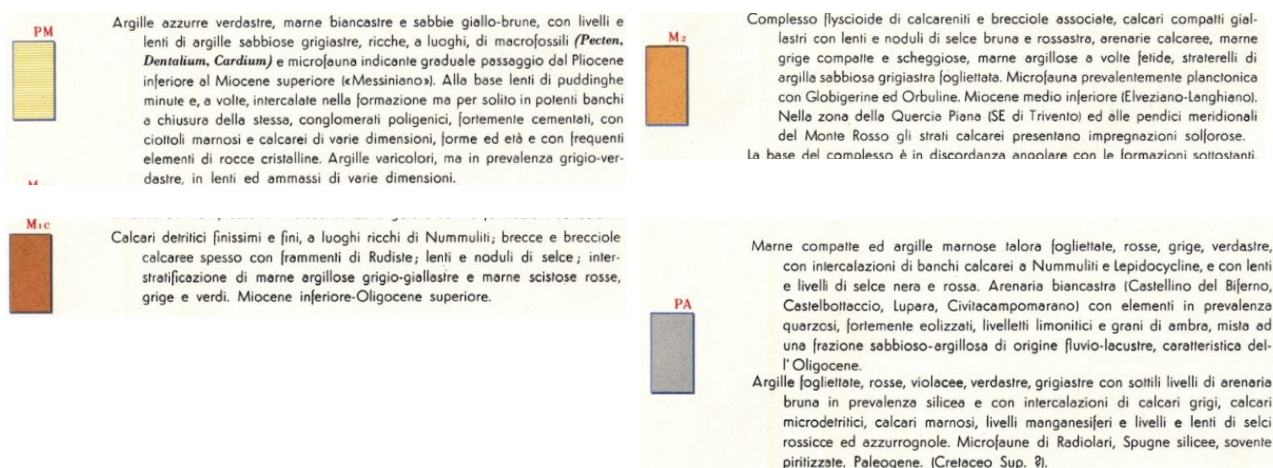
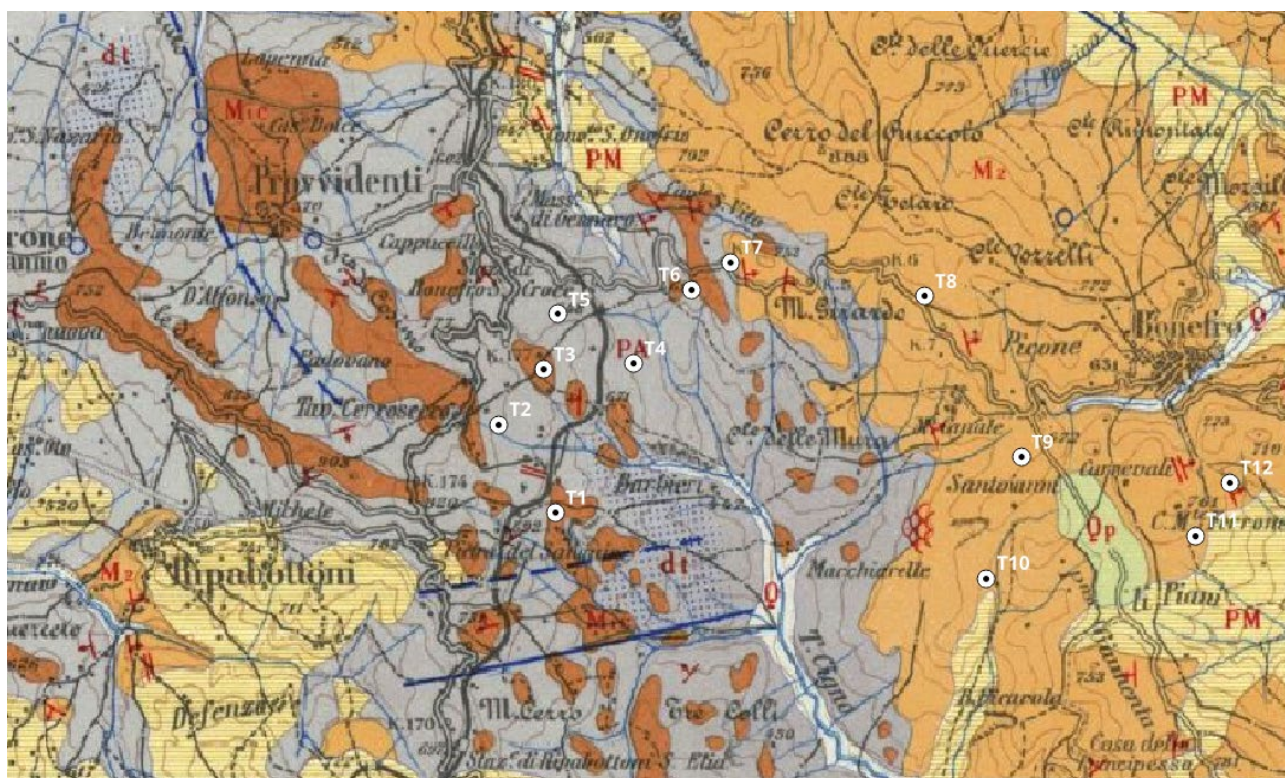


Figura 3-1: inquadramento geologico su foglio "Larino" della carta geologica d'Italia, alla scala 1:100 000

3.2 Inquadramento Geomorfologico

Il territorio è caratterizzato da una morfologia prevalentemente collinare con altitudine media pari a circa 600 m s.l.m. I rilievi montuosi dell'area non superano i 1000 metri ad eccezione di M. Mauro (1042 m) nei pressi di Castelmauro. Infatti, le strutture presenti sono quelle della zona di Castelmauro, di M. la Rocchetta (959 m), nel comprensorio di Montefalcone del Sannio e di C.le Foccadoro (928 m), a Roccapivara.

Queste dorsali si sviluppano secondo un allineamento parallelo con direzione NO-SE e costituiscono versanti a prevalente controllo strutturale. I processi morfogenetici che li dominano sono rappresentati dall'erosione idrica concentrata e dai fenomeni di creep. Tali dorsali, situate in sinistra idrografica del Biferno, si impostano prevalentemente sulle calcilutiti e calcari marnosi della Formazione di Tuffillo (Tortoniano-Serravalliano). In destra idrografica, invece, prevale interamente la Formazione di Faeto (Tortoniano-Serravalliano) costituita sia dal membro calcareo-marnoso rinvenibile in corrispondenza delle dorsali come quella de Il Monte (727 m), e sia dal membro argilloso-marnoso affiorante in corrispondenza delle morfologie più dolci.

L'intera area risulta caratterizzata dalla diffusa presenza di lembi di superfici fluvio-denudazionale che si rinvencono in posizione sommitale o lungo i versanti. Qui i processi morfogenetici dominanti sono legati all'azione delle acque, incanalate e non, che favoriscono lo sviluppo di fenomeni superficiali quali il creep e il soliflusso, nonché di limitati movimenti in massa superficiali e lenti.



Figura 3-2: inquadramento geomorfologico dell'area in esame

3.3 Inquadramento Idrologico e Idrogeologico

Dal punto di vista idrografico, a scala vasta di bacino, l'area è divisibile in tre settori: uno settentrionale, uno centrale ed uno meridionale.

Il settore settentrionale presenta un tratto lungo del corso del Fiume Trigno che bagna il territorio regionale dal comune di Roccavivara fino a quello di Montenero di Bisaccia ed individua un pattern idrografico di tipo dendritico. Nel settore mediano è presente l'invaso artificiale del lago di

Guardialfiera ottenuto per effetto dello sbarramento del Fiume Biferno. Infine, il settore meridionale è interessato dal breve tratto del Fiume Fortore che, uscendo dalla diga del lago di Occhito, prosegue il suo corso in territorio pugliese.

Il reticolo idrografico dell'intera area è prevalentemente di tipo dendritico, tipico dei terreni impermeabili con media acclività.

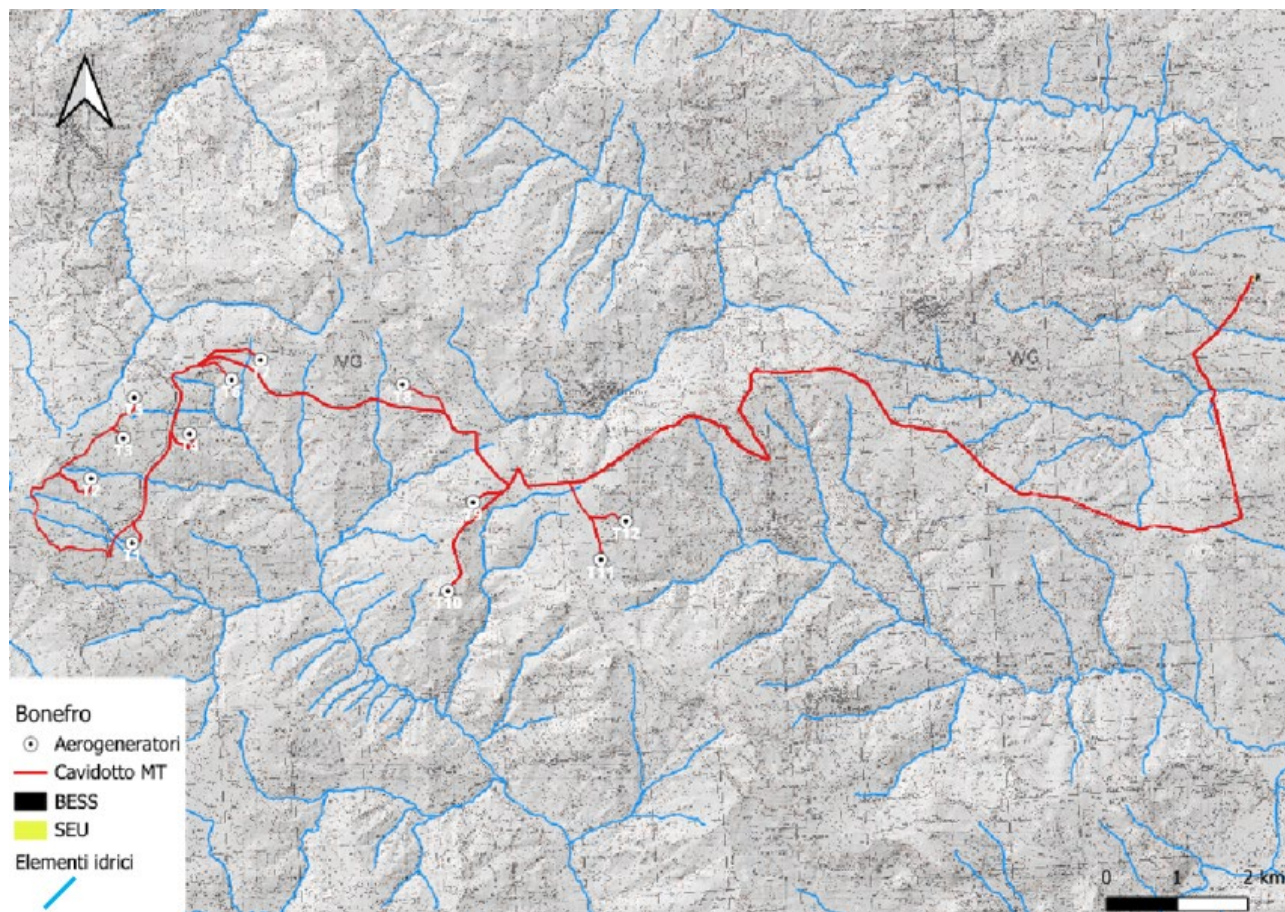


Figura 3-3: elementi idrologici dell'area in esame

Dal punto di vista idrogeologico invece, si è osservato che difficilmente le indagini dirette condotte nell'areale del sito hanno individuato la presenza di falde idriche; infatti, i litotipi che caratterizzano il territorio presentano un basso potenziale di infiltrazione, favorendo principalmente il deflusso superficiale. È tuttavia possibile l'individuazione di falde sospese di piccola entità collocate in lenti sabbiose e/o al di sopra del passaggio alle formazioni litificate del flysch.

3.4 Piano di Assetto Idrogeologico – PAI

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, rappresenta un importantissimo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo ai fini della pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio

idrogeologico individuato sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio regionale.

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

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

Come osservabile nella seguente Figura 3-4, il territorio è caratterizzato da una diffusa pericolosità da frana, mentre gli elementi idrici non presentano pericolosità idraulica. Tuttavia, le postazioni degli aerogeneratori non ricadono direttamente in aree a pericolosità e il tracciato dei cavidotti, anche se attraversa perimetrazioni di pericolo, si sviluppa su strada già esistenti.

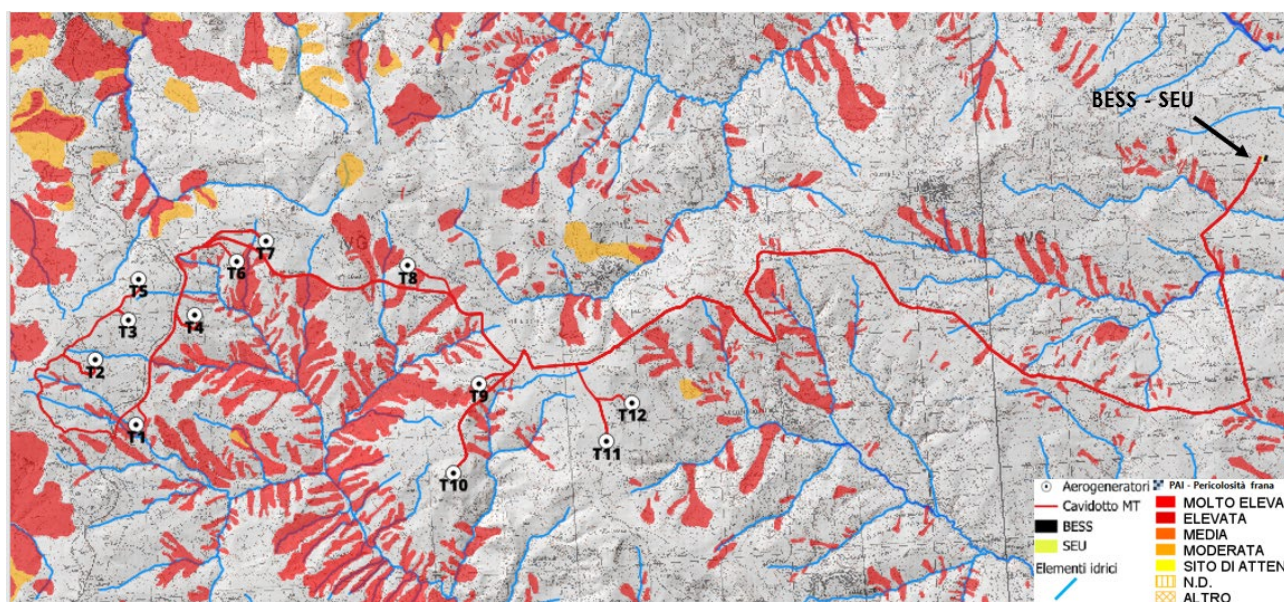


Figura 3-4: valutazione delle condizioni di pericolosità idrogeologiche nel sito in esame

In relazione alla pericolosità geomorfologica, si osserva che la caratteristica comune è la presenza di un settore più rilevato, costituito da materiali più competenti, ai cui margini si sviluppano estesi movimenti gravitativi su litologie prevalentemente argillose.

Numerose sono le aree in cui sono stati riconosciuti fenomeni di dissesto superficiali (Figura 3-5); si tratta di movimenti lenti e discontinui che interessano versanti caratterizzati da pendenze anche inferiori a 5°. Essi sono stati riconosciuti, nella maggior parte dei casi, per il formarsi di colate, lobi e increspature del terreno; tali fenomeni di instabilità sono favoriti dalla diffusa presenza di terreni impermeabili dalle scarse qualità geologico-tecniche, sui quali le piogge e l'acqua di imbibizione hanno un ruolo determinante per l'innescio del processo.

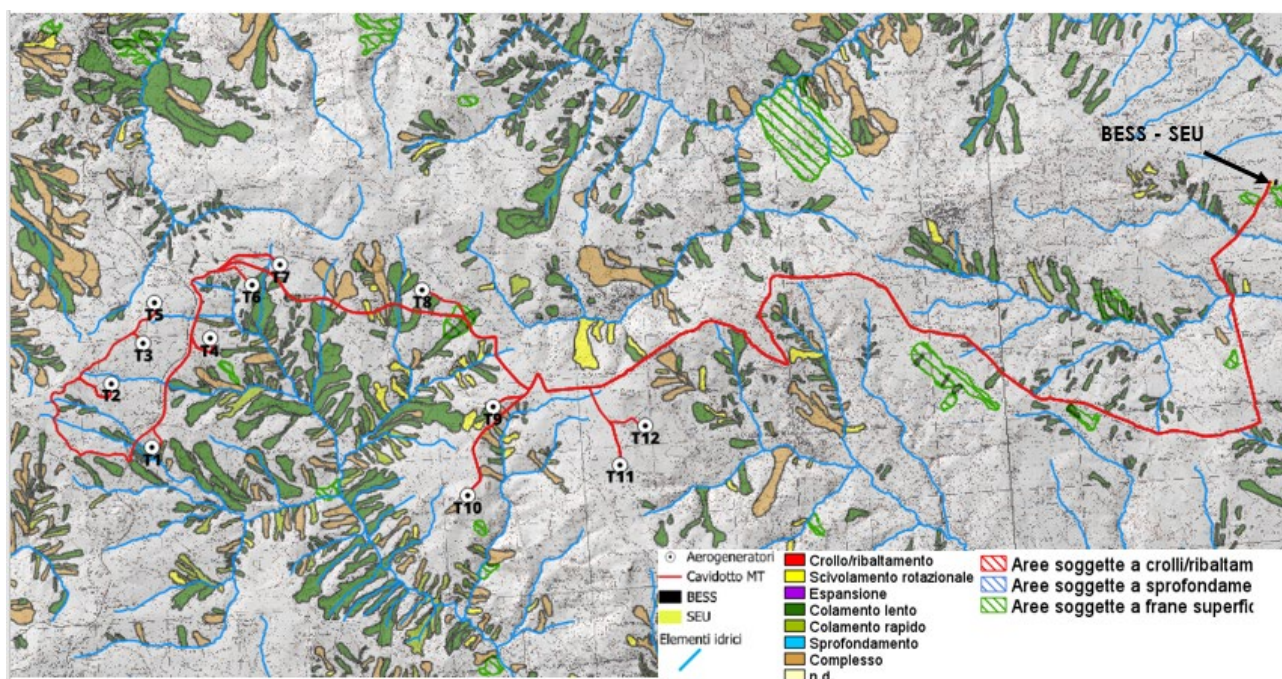


Figura 3-5: cinematismi di frana

3.5 Evidenze da sopralluogo in campo

L'area del sito è stata oggetto di specifico sopralluogo al fine di verificare gli elementi idro-geomorfologici caratteristici e di maggiore rilevanza descritti al paragrafo precedente.

In particolare, durante questa attività, si è prestata attenzione a:

- Verifica del contesto geologico-strutturale di sito e analisi dello stato qualitativo delle matrici rocciose e sedimentarie caratterizzanti il sottosuolo e la topografia dell'area
- Verifica di eventuali condizioni di pericolosità/dissesto caratterizzante l'areale
- Trarre considerazioni del comportamento delle matrici osservate nei confronti delle opere in progetto (strade, opere fondazionali WTG, necessità di opere di sostegno ecc)

3.5.1 Contesto geologico di sito

Come accennato, le litologie affioranti che costituiscono il sottosuolo effettuano un controllo morfologico della topografia di sito. Infatti, laddove il contesto risulta dominato da litotipi a bassa – mediocre resistenza (argille e flysch) si osservano per lo più morfologie dolci con pendii a bassa – media acclività (Figura 3-6).



Figura 3-6: morfologia tipica dell'area in studio. Punto foto a monte della postazione T7, direzione sud-ovest

Nella parete di scavo osservabile in Figura 3-7, è possibile osservare uno spaccato del complesso flyschoidale miocenico, caratterizzante l'area territoriale compresa fra i comuni di Bonafro e San Giuliano.

La prima evidenza è la forte eterogeneità litologica e strutturale; si osservano, infatti, alternanze di strati litoidi da centimetri a decimetri in calcari marnosi colore grigio chiaro - avana con alterazioni giallastre e livelli argillosi marnosi. Il grado di competenza e resistenza di queste sequenze non è elevato; infatti, si osservano depositi di frana alla base dell'affioramento. Tali successioni presentano un forte grado di stress tettonico (si osservano elementi strutturali corrispondenti a differenti fasi tettoniche).

Si tratta di terreni che presentano una resistenza meccanica a luoghi cospicua ed a luoghi più limitata, i valori sono variabili e dipendono dallo stato di addensamento locale del deposito; è stata condotta una valutazione speditiva della resistenza geomeccanica dell'ammasso per mezzo della classificazione "Geological Strength Index (GSI) – per ammassi fratturati", che ha fornito una stima dell'indice GSI pari a 30 ÷ 35.

Il termine litologico sopra descritto è caratteristico del sottosuolo delle postazioni dalla T8 alla T12; è tuttavia possibile che la competenza e il grado di disturbo dei litotipi possa variare da zona a zona.



Figura 3-7: affioramento del complesso flyschoidale del Miocene medio-inferiore; in rosso le tracce dei principali lineamenti strutturali

Si ritrova diffusa su tutto l'areale di impianto una coltra superficiale in argille molto plastiche con ciottoli calcarei biancastri; tale condizione limita fortemente l'infiltrazione, favorendo il deflusso superficiale e la formazione di ristagni idrici a piano campagna (Figura 3-8 e Figura 3-9).



Figura 3-8: formazione di ristagni idrici e deflusso superficiale

3.5.2 Verifica delle pericolosità idrogeologiche

Le caratteristiche litologiche dei terreni controllano le proprietà idrogeologiche dei terreni.

Le condizioni di imbibizione delle coltri fini/argillose, oltre a generare bassa capacità di infiltrazione (come osservabile in Figura 3-9), predispongono anche le condizioni favorevoli all'innesco dei fenomeni di soliflusso e colata che caratterizzano i depositi superficiali del sito (Figura 3-10).



Figura 3-9: formazione di ristagni idrici e deflusso superficiale



Figura 3-10: Osservazione del fenomeno di soliflusso, che influenza la stabilità delle opere con fondazioni superficiali

Tali fenomeni di instabilità sono favoriti dalla diffusa presenza di terreni impermeabili dalle scarse qualità geologico-tecniche, sui quali le piogge e l'acqua di imbibizione hanno un ruolo determinante per l'innesco del processo.

4 INQUADRAMENTO SISMICO

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

Originariamente, i criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche (Tabella 4-1) sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Tabella 4-1: zone sismiche del territorio nazionale

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

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

Zona Sismica 2: Livello di pericolosità medio

In seguito, per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (Figura 4-1) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.

In particolare, con tale provvedimento è stato possibile superare il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale. Infatti, la vecchia classificazione sismica produceva

numerosi situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici in un breve arco di territorio.

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

Nello specifico, per le zone di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) risultano comprese tra $0.200 < a_g < 0.225$ (accelerazione massima del suolo).



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

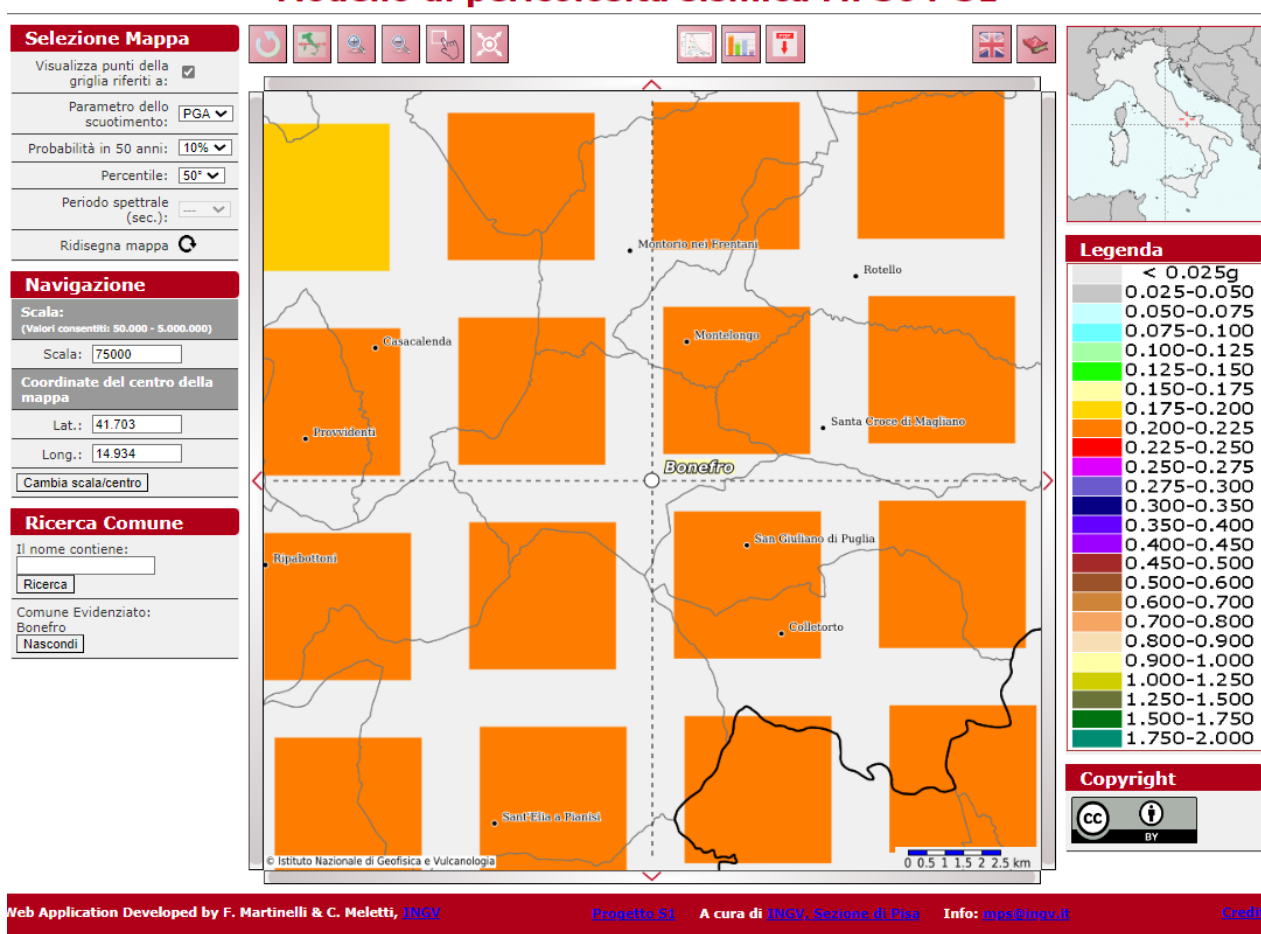


Figura 4-1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) e della pericolosità sismica attesa al suolo a_g sitospecifica, contenuta nel Progetto S1 dell'INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

4.1 Zone Sismogenetiche

Per sorgente sismogenica composta si intende una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogeniche che non possono essere distinte singolarmente. Tali zone sono le principali considerate ad elevato rischio sismico in

quanto, essendo caratterizzate dalla presenza di faglie attive, in esse vi è una elevata probabilità che si verifichino terremoti di elevata magnitudo.

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

Si osserva nella seguente Figura 4-2 che l'area in studio ricade all'interno di una sorgente sismogenetica denominata ITC003 "Ripabottoni – San Severo".

Questa sorgente rappresenta una faglia profonda E-W che può essere vista come il prolungamento occidentale della ben nota faglia di Mattinata, attiva fino a 25 km di profondità. Tale evidenza è stata dimostrata dall'attivazione delle sorgenti che hanno causato i terremoti del Molise del 2002. Questa sequenza ha anche dimostrato che la fagliazione sismogenetica in quest'area è essenzialmente cieca, interessando solo la parte più profonda dello strato sismogenetico - un fatto che sembra caratterizzare l'intero dominio sismogenetico a est della dorsale appenninica meridionale, e forse anche di quella centrale. L'attività di quest'ultimo settore è dimostrata anche dal suo controllo sull'andamento del drenaggio del Rio del Fortore nel suo percorso verso il Mare Adriatico.

La magnitudo massima dei sismi attesi in questa sorgente sismogenetica è pari a 7.1 Mw.

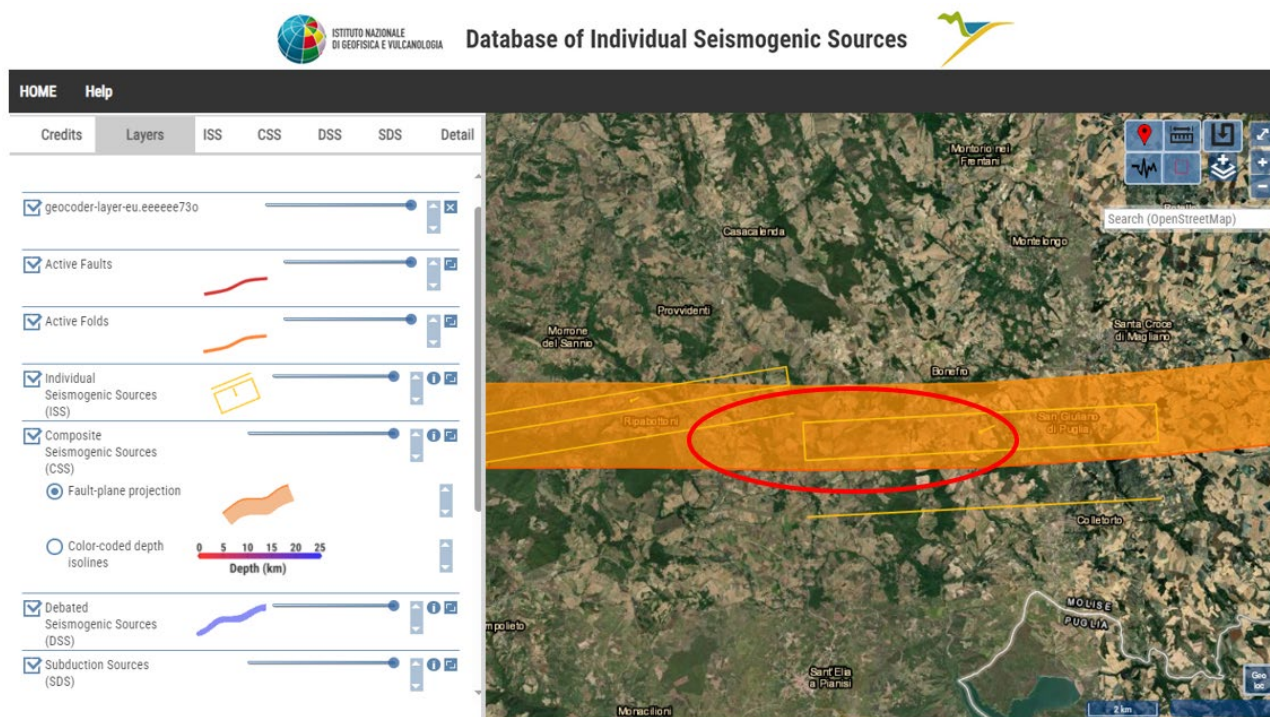


Figura 4-2: Sorgenti sismogenetiche (INGV-DISS); in rosso l'ubicazione dell'area in studio

4.2 Storia Sismica dell'area

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTIO4 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale). Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate.

Si osserva che storicamente l'area in studio è stata interessata da sismi di media-forte intensità; degno di nota in particolare l'evento del 31 ottobre 2002, caratterizzato da un terremoto di magnitudo 5.7, che colpì in particolare il comune di San Giuliano di Puglia causando notevoli danni ad edifici ed infrastrutture e perdita di vite umane.

Bonefro

PlaceID	IT_58597
Coordinate (lat, lon)	41.704, 14.935
Comune (ISTAT 2015)	Bonefro
Provincia	Campobasso
Regione	Molise
Numero di eventi riportati	20

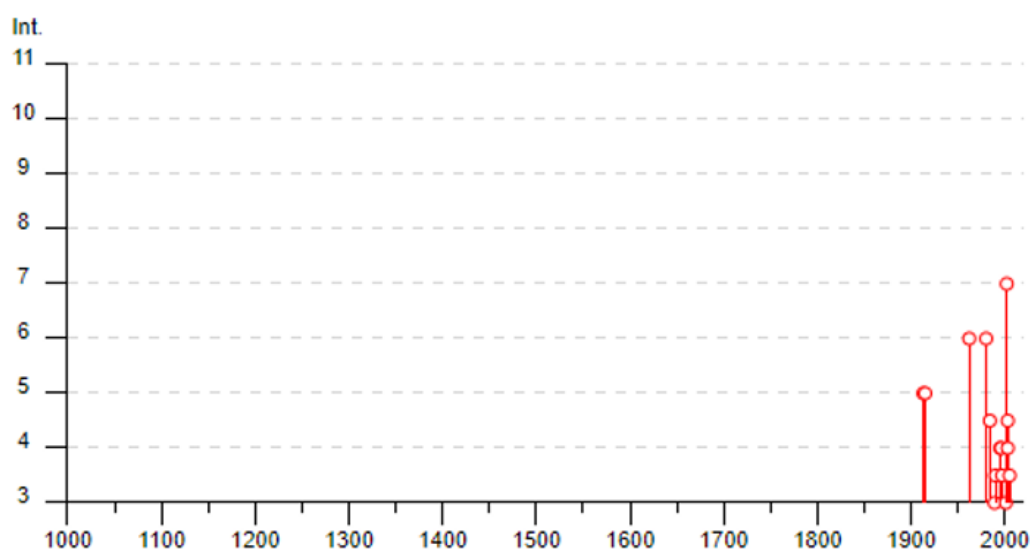


Figura 4-3: Serie storica dei sismi che hanno caratterizzato il territorio in studio

4.3 Sismicità dell'area

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

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

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

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

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

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

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

4.3.1 Effetti amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico. Inoltre, per le sezioni e le misurazioni si è preso come riferimento la cartografia disponibile. Per quanto riguarda i valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica, questi sono riportati nella successiva Tabella 4-2.

Nel caso specifico, le opere di progetto sono ubicate nell'Appennino centro meridionale, dunque con alture e rilievi che raggiungono anche i 900 m s.l.m. La geologia dell'area controlla le morfologie, dunque non si osservano creste e ripidi pendii, ma morfologie per lo più dolci; dunque, la categoria topografica di riferimento è T2 e il coefficiente è pari a $S_t = 1,2$.

Tabella 4-2: categoria di amplificazione topografica – NTC 2018

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o 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

4.3.2 Categoria sismica dei terreni di fondazione

A seguito di esecuzione di prove geofisiche sitospecifiche, illustrate nel dettaglio al successivo capitolo 5, si è valutato che la V_{seq} calcolata è pari a 678 m/s, corrispondente ad una categoria sismica B:

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

4.3.3 Pericolosità sismica di base

Vita nominale (V_n): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (C_u): 1.0

Periodo di riferimento (V_r): 50 [anni]

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

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

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

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 41.705174 [°]

Longitudine (WGS84): 14.887073 [°]

Latitudine (ED50): 41.706150 [°]

Longitudine (ED50): 14.887942 [°]

Tabella 4-3: Coefficienti sismici del punto di indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.058	2.388	0.290
Danno (SLD)	50	0.077	2.461	0.299
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.210	2.469	0.345
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.276	2.447	0.353

Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico η : 1.000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2: Sommità del pendio

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.023	0.031	0.085	0.111
kv	0.012	0.016	0.042	0.056
amax [m/s²]	0.084	0.111	0.302	0.397
Beta	0.280	0.280	0.280	0.280

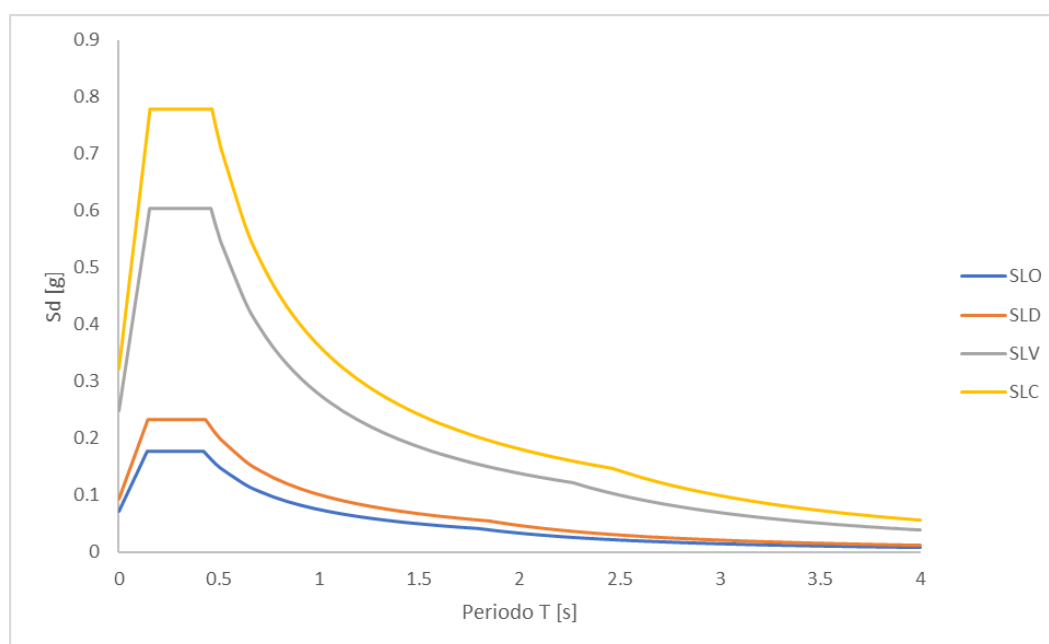


Figura 4-4: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali – Spettro di Progetto e relativi coefficienti

Tabella 4-5: Coefficienti sismici per ciascun stato limite

S.L.	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.058	2.388	0.290	1.2	1.409	1.2	1.44	1.0	0.136	0.409	1.832	0.084	0.199
SLD	1.0	0.077	2.461	0.299	1.2	1.400	1.2	1.44	1.0	0.140	0.419	1.908	0.111	0.273
SLV	1.0	0.210	2.469	0.345	1.2	1.361	1.2	1.44	1.0	0.157	0.470	2.440	0.302	0.748
SLC	1.0	0.276	2.447	0.353	1.2	1.355	1.2	1.44	1.0	0.159	2.704	0.478	0.397	0.971

4.4 Verifica a liquefazione

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

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

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

Si segnala che l'analisi della suscettibilità alla liquefazione verrà condotta in una successiva e più approfondita fase di indagine, a valle dell'acquisizione delle caratteristiche geotecniche sitospecifiche per mezzo di un accurato piano di indagine.

5 MODELLO GEOTECNICO

In base alle evidenze geologiche di sito, verificate per mezzo della bibliografia consultata, si presentano ora n.2 modelli geotecnici di sottosuolo, caratteristici per le zone a e b, individuate al precedente paragrafo 3.1.

Area territoriale a) – WTG T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7

Si osserva una coltre superficiale eluvio-colluviale sciolta in sedimenti con granulometria fine, seguita da un cappellaccio marnoso-argilloso di alterazione del sottostante bedrock flyschoidale.

Id strato	Profondità (m da p.c.)	γ_{nat} N/m³	ϕ (°)	Cu (KPa)	E (KPa)
Argilla limosa	0.0 – 2.0	18.14	22	30	6500
Marne - argillose	2.0 – 8.0	18.63	24	50	7000
Flysch	> 8.0	22	30	-	-

Area territoriale b) – WTG T8, T9, T10, T11, T12

Sequenza di argille di vario genere con discrete qualità geotecniche. In questo modello non è considerata la formazione del flysch di Faeto in quanto risulta affiorante a sud ed est dell'abitato di San Giuliano.

Id strato	Profondità (m da p.c.)	γ_{nat} N/m³	ϕ (°)	Cu (KPa)	E (KPa)	Wp (%)	W_l (%)
Argilla avana	0.0 – 7.5	21.15	22	40	6000	23.2	53.8
Argilla grigia	> 7.5	21.23	24	80	10000	23.2	53.2

FALDA – NON RILEVATA

Data la bassa permeabilità dei terreni non si sono riscontrate falde acquifere superficiali; le poche falde di modesta entità, sono ubicate al contatto tra i terreni superficiali più permeabili e le sottostanti argille impermeabili.

6 CONCLUSIONI

Dall'analisi del contesto idrogeomorfologico e geotecnico dell'area in esame si può concludere che:

L'area si presenta dalla struttura geologica complessa ed eterogenea, costituita per la maggior parte da termini flyschoidi riconducibili al Flysch di Agnone (Messiniano), affiorante al confine con l'area "Alto Molise", e alla Formazione di Faeto (Tortoniano- Serravalliano). Dal punto di vista strutturale il complesso delle formazioni affioranti nell'area è interessato da una serie di pieghe successive, ad assi ravvicinati, più o meno paralleli, generalmente secondo la direzione appenninica (NO – SE).

Il paesaggio si compone di numerose e profonde incisioni torrentizie, che solcano il territorio determinando fenomeni di instabilità, sia lenti che rapidi, come scorrimenti e scivolamenti, colamenti e fenomeni complessi, e fenomeni di erosione superficiale, spesso in stretta interazione con i processi di erosione idrica concentrata e lineare accelerata. Tali fenomeni di instabilità sono favoriti dalla diffusa presenza di terreni impermeabili dalle scarse qualità geologico-tecniche. Il reticolo idrografico dell'intera area è prevalentemente di tipo dendritico, tipico dei terreni impermeabili.

Dall'osservazione di indagini dirette eseguite in sito non si ha evidenza di presenza di falde idriche.

Dal punto di vista sismico, rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, risulta che il sito è caratterizzato da una pericolosità sismica media, con un'accelerazione al suolo attesa nel range $0.200 < a_g < 0.225$. A partire dai dati di bibliografia e dalle considerazioni sul contesto geologico dell'area, il sottosuolo risulta essere di categoria sismica B. Nelle fasi successive di progettazione si valuterà di procedere con una verifica di liquefazione dei terreni.

La stratigrafia di progetto è variabile per ciascuna postazione di impianto; tuttavia, si evidenzia che mediamente i primi 10 m di sottosuolo siano caratterizzati da litologie fini argillose con media – elevata plasticità, che ricoprono le formazioni di flysch a composizione variabile.

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