

Integrale ricostruzione dell'impianto eolico VRG-040

Progetto definitivo

Oggetto:

040-19 - Relazione Geotecnica

Proponente:

VRg wind 040

VRG Wind 040 S.r.l.
Via Algardi 4
Milano (MI)

Progettista:

 **Stantec**

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

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	17/06/2022	Prima Emissione	L. Cariatì	A. Santambrogio	G. Prosperì
01	05/08/2022	Integrati Commenti	L. Cariatì	A. Santambrogio	G. Prosperì
02	12/04/2024	Integrazioni volontarie	A. Santambrogio	M. Carnevale	G. Prosperì
03	15/05/2024	Integrazioni volontarie	A. Santambrogio	M. Carnevale	G. Prosperì

Fase progetto: Definitivo	Formato elaborato: A4
----------------------------------	------------------------------

Nome File: **040-19.03 - Relazione geotecnica.docx**

Indice

1	PREMESSA	3
1.1	Descrizione del proponente	3
1.2	Contenuti della relazione	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	7
3.1	Inquadramento Geologico Regionale.....	7
3.2	Inquadramento Geologico Locale di Campofelice di Fitalia.....	9
3.3	Inquadramento Geologico Locale di Villafrati.....	10
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE.....	14
4.1	Campagna Geognostica 2003	14
4.1.1	Esiti campagne geognostiche 2003.....	14
4.2	Campagne geognostiche da bibliografia.....	15
4.2.1	Prove penetrometriche e MASW	15
4.2.2	Esiti campagne geognostiche 2019.....	15
4.3	Considerazioni sui parametri geotecnici di progetto	16
4.4	Falda di progetto.....	17
4.5	Campagne di Indagine	17
5	INQUADRAMENTO SISMICO	18
5.1	Inquadramento macrosismico	18
5.2	Zone sismogenetiche.....	21
5.3	Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio comunale.....	21
5.4	Definizione di sismicità dell'area	24
5.4.1	Premessa.....	24
5.4.2	Effetti di amplificazione topografica	25
5.4.3	Categoria del suolo di fondazione	25
5.4.4	Pericolosità sismica di base	25
5.5	Suscettibilità al fenomeno di liquefazione dei terreni.....	27
6	CONCLUSIONI.....	28

Indice delle figure

Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto VRG-040	5
Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto dell'area dell'impianto VRG-040 nel suo stato di fatto e nello stato di progetto. In evidenza i settori nei comuni di Villafrati (sopra) e Campofelice di Fitalia (sotto).	6
Figura 3-1: Carta dei differenti settori crostali della regione centrale del mediterraneo (Catalano et al., 2011)	7
Figura 3-2: Schema strutturale dei rapporti tra le varie unità S.S. affioranti nel Foglio 608 "Caccamo" e nei fogli adiacenti, su cui è stata sovrimposta una mappa delle anomalie di Bouguer, filtrate alla profondità di 3-6 km, modificata da (Murgia, 1989). Il ret	8
Figura 3-3: Stralcio foglio CARG 608 – Caccamo 1:50.000 dell'area di Campofelice di Fitalia; ("per gentile concessione di ed uso da parte di ISPRA")	9
Figura 3-4: Stralcio foglio CARG 608 – Caccamo 1:50.000 dell'area di Villafrati ("per gentile concessione ed uso da parte di ISPRA").....	12
Figura 3-5: Sezione geologica in scala 1:100.000 orientata NNE/S e passante per il bacino evaporitico di Ciminna	13
Figura 5-1: Classificazione sismica dei comuni della Sicilia.....	18
Figura 5-2: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (OPCM 3519-06)	20
Figura 5-3: Zone sismogenetiche nelle vicinanze dell'area di studio	21
Figura 5-4: Mappa della sismicità storica contenuta nel Database of individual Seismogenetic Sources (Progetto DISS vv 3.3.0).....	23
Figura 5-5: Storico dei terremoti che hanno interessato l'area di studio	23

1 PREMESSA

Stantec S.p.A., in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Sorgenia S.p.A. di redigere il progetto definitivo per il potenziamento dell'esistente impianto eolico ubicato nei Comuni di Campofelice di Fitalia (PA), Villafrati (PA) e Ciminna (PA), costituito da 35 aerogeneratori di potenza 0,85 MW ciascuno, con una potenza complessiva dell'impianto pari a 29,75 MW installati.

L'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori dell'impianto viene convogliata tramite cavidotto interrato MT da 20 kV, alla Sottostazione Utente, ubicata nel comune di Ciminna. L'allacciamento dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) avviene attraverso un collegamento direttamente alla Cabina Primaria di Ciminna di Enel Distribuzione, la quale a sua volta è collegata in entra-esce sulla linea esistente AT a 150 kV "Ciminna-Castronovo".

L'intervento in progetto consiste nella sostituzione delle 35 turbine eoliche dell'impianto esistente con 11 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MW ciascuno. Si prevede di collegare gli 11 aerogeneratori di progetto alla Sottostazione di trasformazione MT/AT del comune di Ciminna mediante un cavo interrato MT da 33 kV. Il seguente progetto di repowering consente di aumentare notevolmente la potenza complessivamente prodotta dall'impianto, riducendo gli impatti sul territorio grazie al più ridotto numero di aerogeneratori impiegati. Inoltre, la maggior efficienza dei nuovi aerogeneratori comporta un aumento considerevole dell'energia specifica prodotta, riducendo in maniera proporzionale la quantità di CO2 equivalente.

1.1 Descrizione del proponente

Il soggetto proponente del progetto in esame è VRG Wind 040 S.r.l., interamente parte del gruppo Sorgenia Spa, uno dei maggiori operatori energetici italiani.

Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca. 33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%.

Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 040 S.r.l., è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

1.2 Contenuti della relazione

Il presente documento costituisce revisione dell'elaborato depositato in fase di prima istanza per una modifica di layout sopraggiunta a seguito di approfondimenti sulle caratteristiche ed il rischio geomorfologico del sito che hanno portato ad una ottimizzazione della localizzazione degli aerogeneratori e delle relative opere, volta a garantire la stabilità idrogeomorfologica dei versanti, nonché alla minimizzazione dell'entità di scavi e riporti.

Esso costituisce la relazione geologica, geotecnica e sismica a supporto della documentazione tecnico-descrittiva per il progetto di repowering dell'impianto eolico attualmente in essere; finalizzato a fornire una indicazione del contesto geologico di base, dei principali aspetti geomorfologici con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti ed una caratterizzazione di massima dei litotipi che verranno interessati dalle opere di fondazione per l'edificazione dell'impianto.

L'indagine in oggetto al presente elaborato si è basata su dati e studi di origine bibliografica e sulla documentazione fornita dalla committenza e si pone il fine di presentare anche l'elaborazione dei dati e la stima dei parametri geotecnici dei terreni. In particolare, la documentazione era composta da relazioni geologiche realizzate per gli attuali impianti in esercizio, da informazioni bibliografiche fruibili sul geoportale nazionale e da una relazione geotecnica di un impianto fotovoltaico posto in un sito vicino all'area di studio.

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

- Inquadramento del contesto geologico-strutturale.
- Inquadramento e caratterizzazione sismica dei terreni.
- Ricostruzione della stratigrafia locale mediante consultazione della letteratura disponibile.
- Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni, ottenuta tramite la consultazione di lavori eseguiti nell'area di progetto e nelle sue prossimità, al fine di verificare le caratteristiche geotecniche dei terreni.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito in cui è ubicato il parco eolico oggetto di Repowering, denominato VRG-040, è collocato nei comuni di Villafrati, Ciminna, Campofelice di Fitalia e Mezzojuso, nella provincia di Palermo, in Sicilia.

L'impianto VRG-040 è localizzato a circa 30 km a Sud dal capoluogo, a 2 km in direzione Sud-Est rispetto al centro urbano del Comune di Villafrati ed a 0,8 km in direzione Sud/Sud-Ovest rispetto al centro storico di Campofelice di Fitalia.

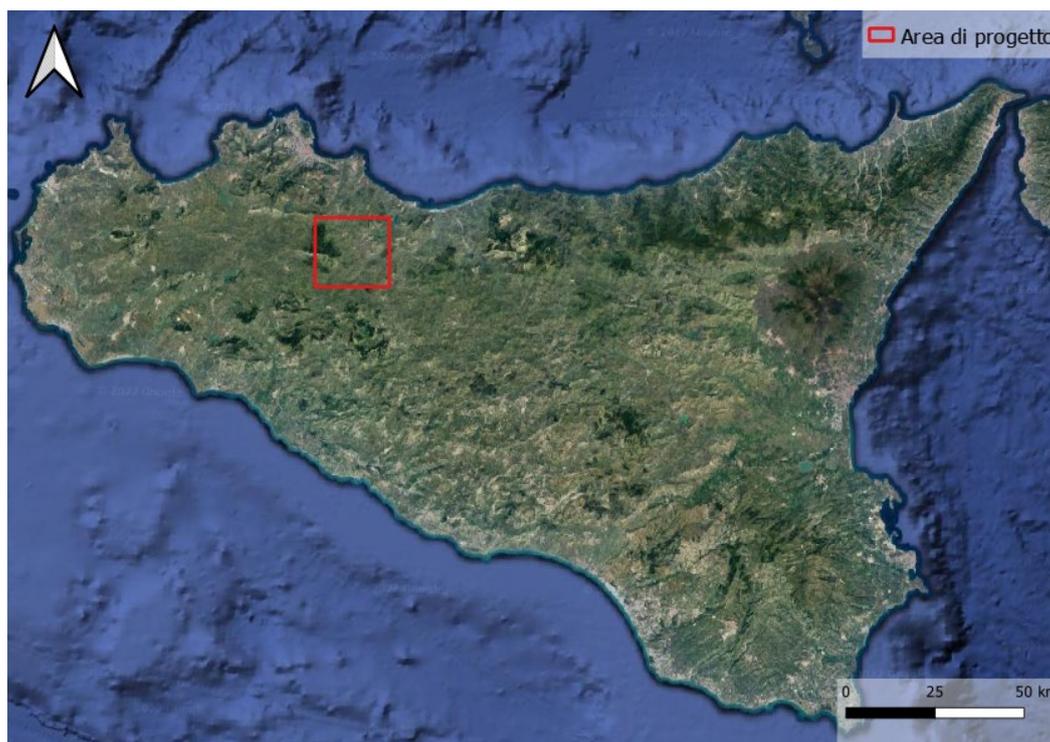


Figura 2-1: Inquadramento territoriale dell'impianto VRG-040

L'impianto eolico VRG-040 è situato in una zona prevalentemente collinare non boschiva caratterizzata da un'altitudine media pari a circa 700 m, ma con rilievi montuosi non trascurabili, con sporadiche formazioni di arbusti e la presenza di terreni seminativi/incolti.

Gli aerogeneratori di progetto ricadono all'interno dei seguenti fogli catastali:

- Fogli 5, 8, 11, 13 nel comune di Campofelice di Fitalia;
- Fogli 15, 16, 17, 18 nel comune di Villafrati;
- Foglio 28 nel comune di Mezzojuso.

L'intervento di integrale ricostruzione e potenziamento dell'impianto consiste nello smantellamento dei 35 aerogeneratori esistenti e la relativa sostituzione con 11 turbine eoliche di potenza ed efficienza maggiore.

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

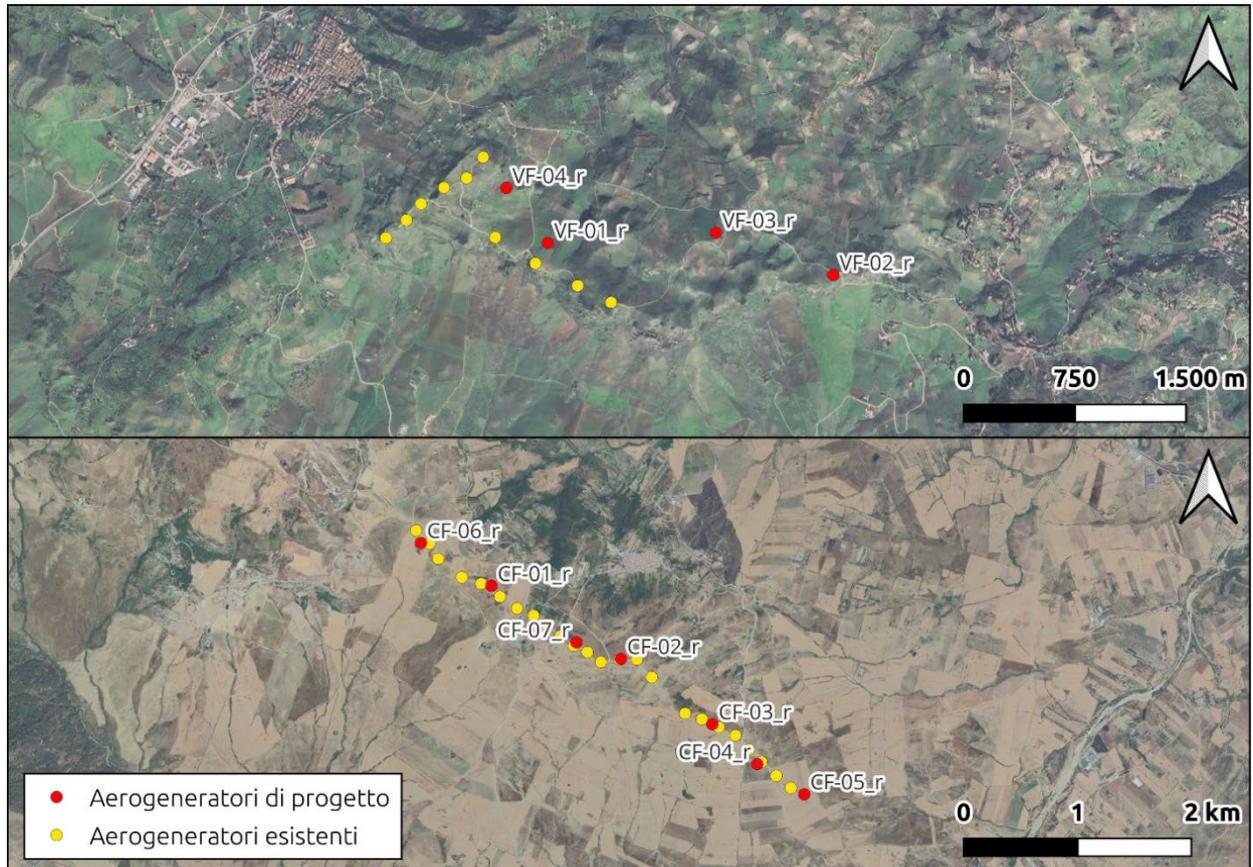


Figura 2-2: Inquadratura su ortofoto dell'area dell'impianto VRG-040 nel suo stato di fatto e nello stato di progetto. In evidenza i settori nei comuni di Villafrati (sopra) e Campofelice di Fitalia (sotto).

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

Tabella 1: Localizzazione geografica degli aerogeneratori di nuova costruzione

ID	Comune	Est [m]	Nord [m]
VF-01_r	Villafrati	368426	4195457
VF-02_r	Villafrati	370351	4195239
VF-03_r	Villafrati	369560	4195527
VF-04_r	Villafrati	368145	4195831
CF-01_r	Mezzojuso	365474	4187475
CF-02_r	Campofelice di Fitalia	366612	4186827
CF-03_r	Campofelice di Fitalia	367414	4186249
CF-04_r	Campofelice di Fitalia	367808	4185895
CF-05_r	Campofelice di Fitalia	368221	4185627
CF-06_r	Campofelice di Fitalia	364855	4187855
CF-07_r	Campofelice di Fitalia	366221	4186975

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Inquadramento Geologico Regionale

L'area oggetto di studio, che sarà predisposta all'intervento di repowering degli impianti attualmente esistenti, occupa due località, la prima si sviluppa a Sud/Sud-Ovest del Comune di Campofelice di Fitalia, la seconda, situata a Sud-Est di Villafrati.

A livello geodinamico regionale, la Sicilia costituisce una porzione di mega sutura che si sviluppa lungo il limite tra la placca africana e quella europea nel Mediterraneo centro-occidentale. In quest'area un segmento di catena collega le Maghrebidi africane con la Calabria e gli Appennini e si estende dalla Sardegna attraverso la Sicilia, fino alla piattaforma pelagiana (Canale di Sicilia).

I movimenti a cui è soggetto questo settore del Mediterraneo sono dovuti alla rotazione antioraria oligo-miocenica del blocco Sardo-Corso, la cui collisione con il margine continentale africano è considerata comunemente come la causa primaria di gran parte della deformazione compressiva nella catena subappenninica-siciliana.

A seguire, dal Miocene superiore, alla fine della rotazione del blocco sardo-corso parte dell'orogenesi alpino-appenninica è interessata da processi distensivi associati, con il progressivo arretramento del piano di subduzione, immergente verso NO, della placca Adriatico-Ionica al di sotto della Calabria, responsabili della formazione ed evoluzione del bacino Tirrenico meridionale.

Di seguito, in Figura 3-1, viene riportata la schematizzazione strutturale dell'area di studio a livello regionale.

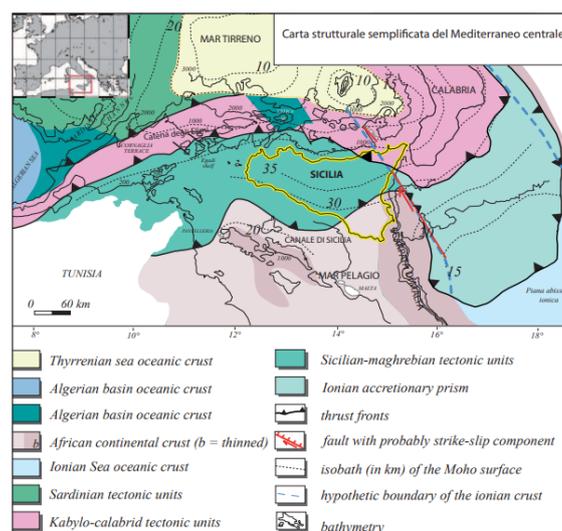


Figura 3-1: Carta dei differenti settori crostali della regione centrale del mediterraneo (Catalano et al., 2011)

L'area di interesse rappresenta un settore chiave per la comprensione delle caratteristiche della catena siciliana, in quanto costituisce la zona di transizione tra le strutture affioranti nella Sicilia

occidentale e quelle della Sicilia centrale. Il 60% dell'area in esame risulta interessata da estese coperture mioceniche terrigene, per lo più deformate, che sono espressione di ambienti tettono-sedimentari diversi.

Nell'edificio tettonico dell'area di studio si distinguono varie unità stratigrafiche – strutturali (in seguito U.S.S) costituite da successioni mesocenozoiche. Le unità tettoniche, distinte a partire da quelle geometricamente più alte e più dislocate riportate nella seguente Figura 5-2 , sono:

- Unità S.S derivanti dalla deformazione del Dominio Sicilide.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione del bacino del Flysh Numidico.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione del bacino di Lercara.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione del Bacino Imerese.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione del Bacino Sicano.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione Dominio PrePanoramide.
- Unità S.S. derivanti dalla deformazione della Piattaforma Carbonatica Trapanese.

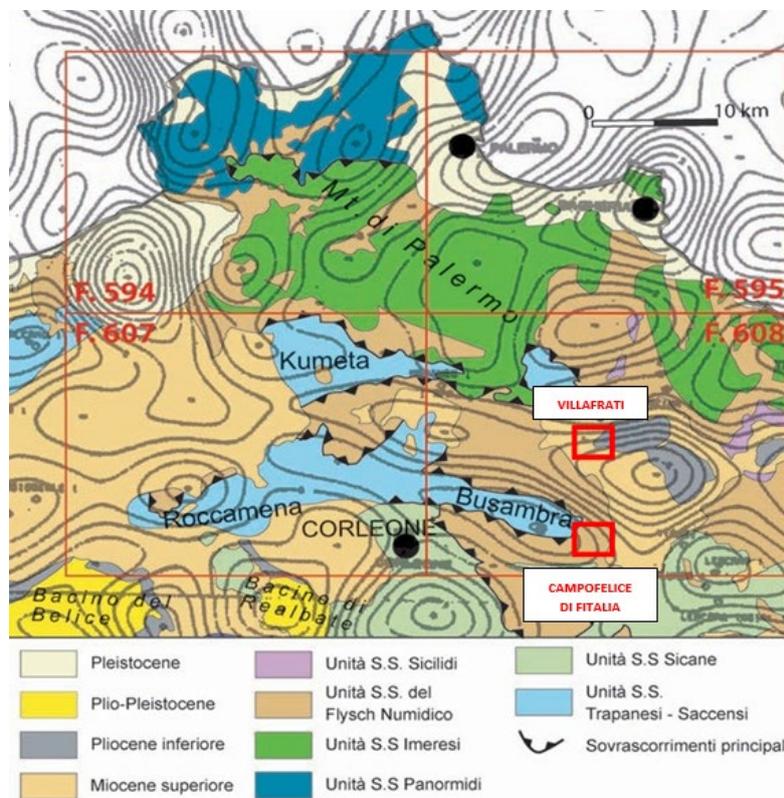


Figura 3-2: Schema strutturale dei rapporti tra le varie unità S.S. affioranti nel Foglio 608 "Caccamo" e nei fogli adiacenti, su cui è stata sovrapposta una mappa delle anomalie di Bouguer, filtrate alla profondità di 3-6 km, modificata da (Murgia, 1989). Il ret

3.2 Inquadramento Geologico Locale di Campofelice di Fitalia

L'area di Campofelice di Fitalia si trova all'interno del Foglio CARG 608 Caccamo (1:50.000). Di seguito in figura uno stralcio dell'area in esame;

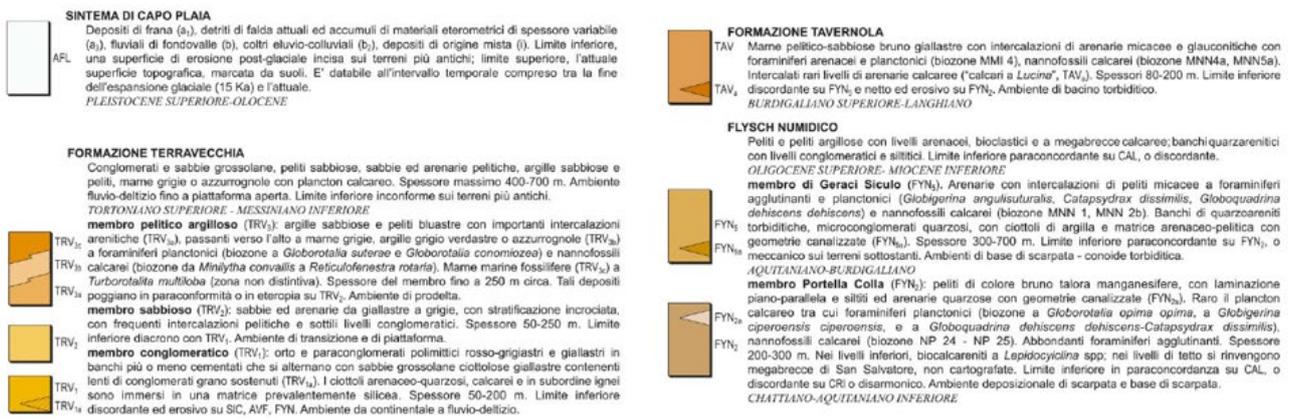
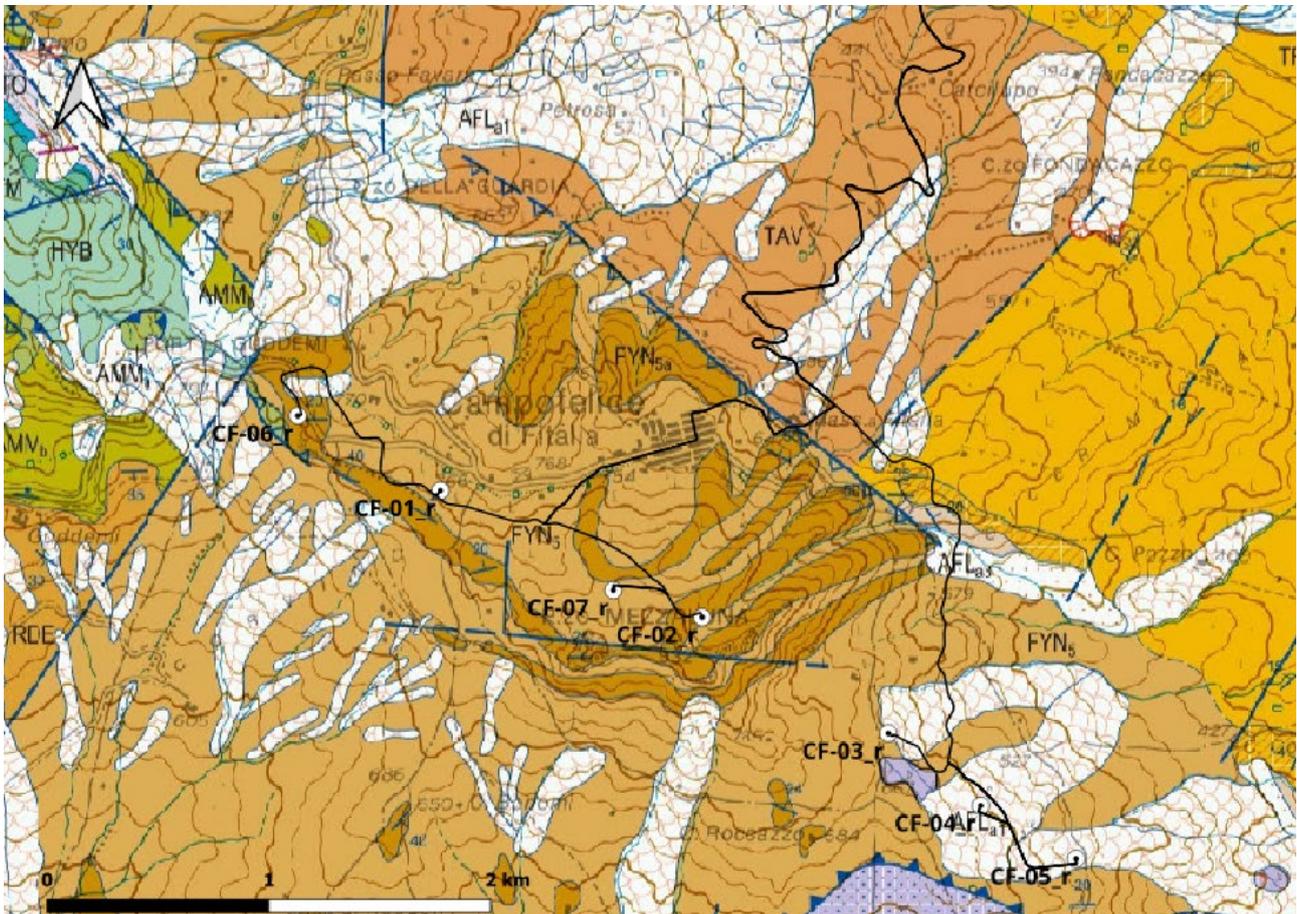


Figura 3-3: Stralcio foglio CARG 608 – Caccamo 1:50.000 dell'area di Campofelice di Fitalia; ("per gentile concessione di ed uso da parte di ISPRA")

L'area in cui andrà ad insediarsi l'impianto è costituita prevalentemente da successioni clastico-terrigene oligo-mioceniche, per lo più torbiditiche, depositatisi (in discordanza o in paraconcordanza) in depressioni di un margine continentale in via di formazione.

Stratigraficamente, rappresentano le coperture di successioni mesozoico-paleogeniche depositatesi in domini più esterni (Imerese e Panormide) e di successioni di domini più interni (Sicilidi).

Nell'area rappresentata in Figura 3-3 affiora il Flysch Numidico (FYN₅) costituito da un'alternanza di prevalenti arenarie giallastre, quarzoareniti in potenti banchi (megacicli, FYN_{5a}) e di sottili livelli di peliti, e peliti siltose grigio-brune talvolta micacee con rari foraminiferi arenacei e planctonici. Questa unità raggiunge la sua massima potenza compresa tra i 300 e 700 m proprio in prossimità dell'area di studio.

Inoltre, l'area è racchiusa tra un sistema di faglie che si esplica a nord con una faglia inversa e una faglia diretta a sud, formando un alto strutturale. In questa porzione gli strati immergono in direzione N/NE e a basso angolo.

3.3 Inquadramento Geologico Locale di Villafrati

L'area di Villafrati si trova all'interno del Foglio CARG 608 Caccamo (1:50.000); di seguito in Figura 3-4 uno stralcio dell'area in esame riportante anche l'ubicazione della SSU Ciminna.

L'area su cui andrà ad insediarsi l'impianto è costituita partendo dai depositi più antichi a quelli più recenti: dall'unità litostratigrafica nota come "Formazione Terravecchia", che affiora a sud dell'area di studio come un corpo pelitico-argillo-marnoso (membro pelitico-argilloso, TRV₃) spesso circa 100-250 m; l'intervallo risulta costituito dal basso verso l'alto da argille sabbiose e/o sabbie e marne argillose (TRV_{3b}) e da un livello di marne marine contenenti *Turborotalita Multiloba* (TRV_{3c}). Questo deposito affiora nella depressione tettonica che si estende da Campofelice di Fitalia a sud fino a Villafrati a Nord e costituisce il substrato del bacino evaporitico di Ciminna e dalla sua prosecuzione orientale. Il limite inferiore della formazione è discordante ed erosivo rispetto alle Argille Varicolori inferiori, alla Formazione di Tavernola, al Flysch Numidico e alla Formazione Castellana Sicula; il limite superiore è discordante ed erosivo con la Formazione di Baucina e la Formazione di Cattolica.

Stratigraficamente sopra affiora la Formazione di Cattolica con gessi selenitici massivi e/o stratificati con a luoghi intercalazioni di laminiti algali e di calcari e marne gessose biancastre arrangiate in 5/6 cicli. Nel loro insieme raggiungono uno spessore di circa 150 m e sono raggruppabili nel membro selenitico della Formazione di cattolica. Il limite inferiore è discordante e a carattere erosivo sul membro pelitico argilloso della Formazione di Terravecchia, sulla Formazione di Ciminna e sulla Formazione Baucina; il limite superiore discordante e a carattere erosivo sulla Formazione di Pasquaia e Trubi. La formazione di Pasquaia è rappresentata nell'area dal membro gessoso-marnoso (GPQ₂) e verso l'alto da quello dei conglomerati (GPQ₄). Il primo è costituito da gessopeliti e gessoareniti a struttura enterolitica e/o alabastrina con uno spessore di circa 100 metri, mentre il secondo comprende fanglomerati polimititici rossastri, argille e marne ad ostracodi. Il

limite superiore di entrambi i membri appare come limite discordante con erosione rispetto a Trubi (TRB), membro composto principalmente da calcari e calcari marnosi bianco-giallastri ben stratificati a foraminiferi planctonici alla cui base sono visibili, localmente, ciottoli risedimentati carbonatici e silicei derivanti dall'erosione dell'unità superiore dei terreni evaporitici con spessori compresi tra i 60 e 100 metri.

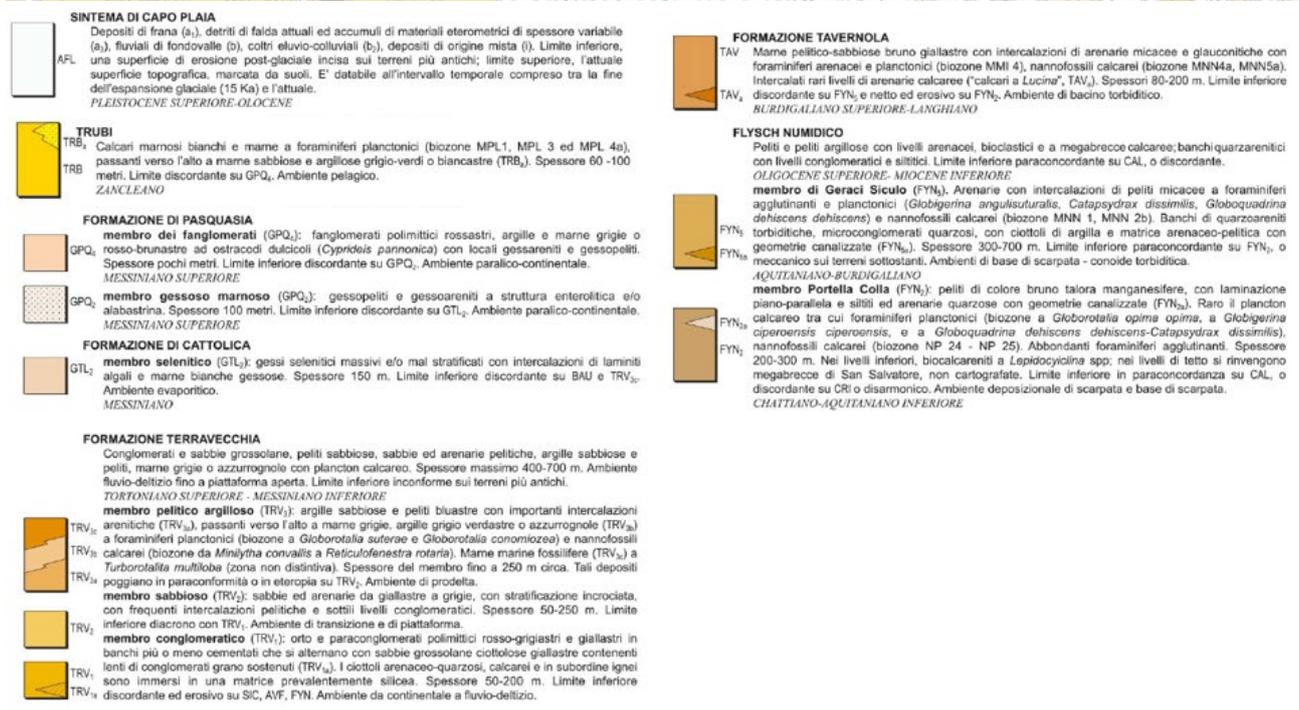
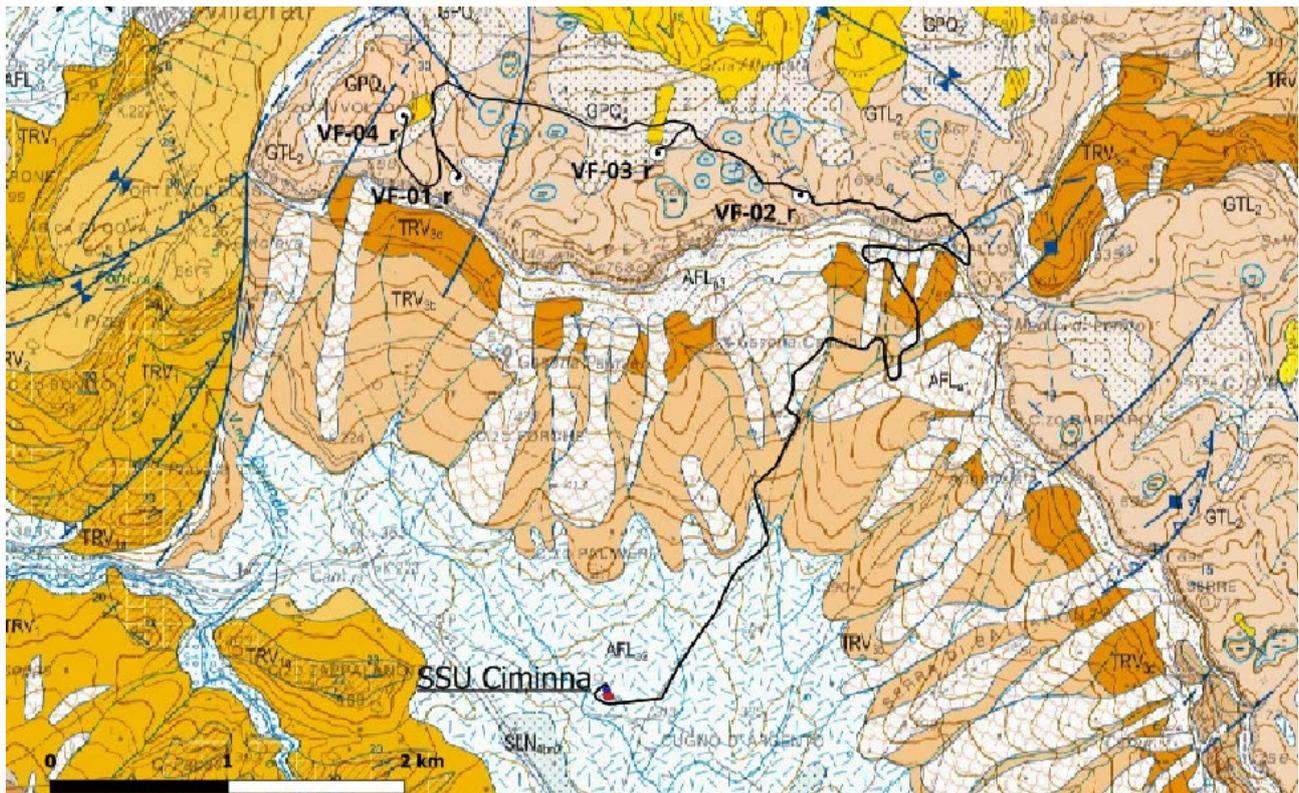


Figura 3-4: Stralcio foglio CARG 608 – Caccamo 1:50.000 dell'area di Villafrati ("per gentile concessione ed uso da parte di ISPRA")

Strutturalmente, l'area è interessata da faglie in direzione prevalente S/N – SW/NE. Le unità litologiche del bacino evaporitico immergono a basso angolo in direzione N/NE e sono talvolta piegate formando delle sinclinali.

Di seguito, in Figura 3-5, viene riportata una sezione eseguita 5 km ad est dell'area di studio, con orientamento dove vengono mostrati i rapporti stratigrafici tra le varie unità sopra citate.

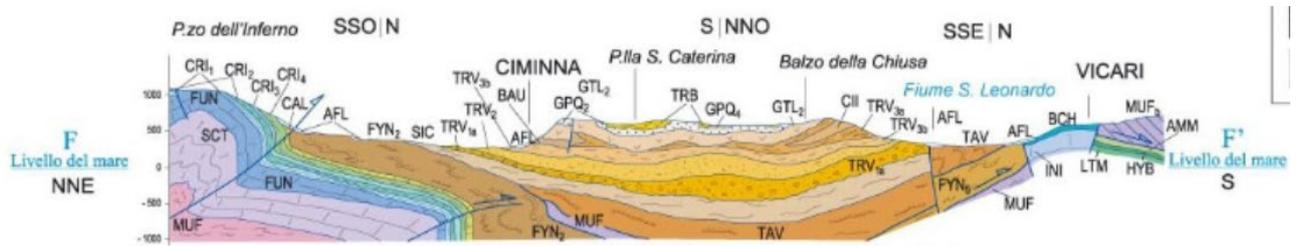


Figura 3-5: Sezione geologica in scala 1:100.000 orientata NNE/S e passante per il bacino evaporitico di Ciminna

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE

Di seguito vengono riportate le considerazioni di tipo geologico, geotecnico per i terreni caratterizzanti il sito in esame. Le informazioni riportate, si basano sui dati relativi alle campagne geognostiche svolte nell'area di interesse nel 2003 per la progettazione esecutiva dell'impianto esistente e da informazioni reperite da una ricerca bibliografica.

Le campagne geognostiche non forniscono dati di qualità e risoluzione sufficiente in quanto indirizzate al dimensionamento di opere fondazionali diverse da quelle in progetto (tipologia e della profondità di indagine troppo limitata). Infatti, esse rappresentano campagne relative all'impianto esistente, situazione completamente differente dal nuovo impianto in progetto, caratterizzato da aerogeneratori di taglia molto più grande e, di conseguenza, oggetto di sollecitazione sul suolo ben diverse. Sarà quindi necessario in fase di progettazione esecutiva che le indagini siano integrate in numero e tipologia al fine di poter disporre di esaustivi elementi per la progettazione delle opere fondazionali e stradali.

4.1 Campagna Geognostica 2003

Nel mese di maggio 2003 sono state condotte delle campagne geognostiche in sito al fine di ricostruire il modello concettuale geologico del sito per la futura realizzazione degli impianti eolici attualmente oggetto di repowering. Le campagne geognostiche hanno previsto l'esecuzione delle seguenti attività:

- Area di indagine Campofelice di Fitalia: n.17 pozzetti esplorativi fino alla quota di 4 m da p.c.;
- Area di indagine Villafrati: n.24 pozzetti esplorativi fino alla quota di 4 m da p.c.;

4.1.1 Esiti campagne geognostiche 2003

La stratigrafia del sottosuolo individuata per mezzo dei pozzetti esplorativi è la seguente:

- 0 - 1/1,5 m da p.c. Materiale di copertura: costituito di materiale sciolto a grana medio-fine, derivante dal disfacimento dei terreni di natura argillo-limosa, flyschoidi, costituita da terreno agrario a matrice argillosa e argillo-limosa, di colore grigio-rossastro, con inclusi frammenti lapidei spigolosi, prevalentemente quarzoareniti spigolosi ed arrotondati;
- 1/1,5 – 4 m da p.c. Alternanze litologiche relative alla formazione di Terravecchia (Unità Flyschoidi). Si tratta di rocce coerenti con livelli pseudo-coerenti costituiti da argille siltoidi, alternate a sottili livelli arenacei con intercalazioni di calcareniti gradate, e da argille sabbiose e quarzoareniti gradate;

Le indagini relative a questa campagna non hanno individuato presenza di falda fino alla profondità massima indagata (4 m da p.c.).

4.2 Campagne geognostiche da bibliografia

Ad integrazione delle indagini geognostiche condotte in situ nel 2003, dalla bibliografia, è stato possibile ricavare ulteriori indicazioni riguardo i parametri geotecnici dell'area di studio.

4.2.1 Prove penetrometriche e MASW

Nell'area compresa tra i territori comunali di Campofelice di Fitalia, Mezzojuso e Ciminna (PA) è stata condotta nel mese di ottobre 2019 una campagna geognostica per la realizzazione di prove geotecniche in sito per la progettazione di un impianto FER.

Nel dettaglio sono state svolte:

- n. 7 prove penetrometriche con penetrometro DPM30 fino alla profondità massima indagata di 8 m da p.c.;
- n. 7 stendimenti sismico di tipo MASW;

Le prove penetrometriche hanno fornito valori di resistenza dinamica del terreno all'attraversamento delle aste; inoltre, permettono di ottenere valori significativi di alcuni parametri geotecnici attraverso correlazioni analitiche:

- Modulo di Poisson
- Angolo di attrito, Coesione e Peso di volume
- Modulo di Young, Edometrico e deformazione di taglio.

Per quanto concerne le prove MASW esse sono utili al fine della definizione della categoria sismica del sottosuolo.

4.2.2 Esiti campagne geognostiche 2019

L'analisi dei dati ricavati dalle campagne condotte ha permesso di definire i parametri geotecnici caratteristici dei litotipi indagati fino alla profondità massima di 8 m da p.c.

Di seguito vengono riportati gli esiti delle prove penetrometriche:

Tabella 2: Esiti delle prove penetrometriche tratti dalla bibliografia

IDstrato	Profondità media [m da p.c.]	Coesione non drenata (C_u) [Kg/cm ²]	Angolo di attrito ϕ [°]	Peso di volume [g/cm ³]
copertura	1,5	0,4 - 1,65	22 - 27	1,65 - 1,89
flysch	8	0,72 - 2,48	31 - 34	2,01 - 2,04

Di seguito vengono riportati gli esiti delle prove MASW:

Tabella 3: Esiti delle prove MASW tratti dalla bibliografia

n. Prova MASW	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria Sismica
1	381,64	B
2	276,02	C
3	482,96	B
4	463,17	B
5	352,73	C
6	257,92	C
7	363,765	B

4.3 Considerazioni sui parametri geotecnici di progetto

L'analisi dei dati ricavati dalla campagna indagine condotta dalla campagna di indagini integrative del 2003 e dai dati raccolti da fonti bibliografiche (campagna geognostica 2019 condotta nell'areale del sito) ha permesso di definire i parametri geotecnici caratteristici da impiegare per le verifiche geotecniche.

Tabella 4: Parametri geotecnici (*massima profondità indagata)

id strato	Profondità media [m da p.c.]	Coesione (C) [kN/m ²]	Coesione non drenata (C_u) [kN/m ²]	Angolo di attrito ϕ [°]	Peso di volume [kN/m ³]
Materiale di copertura	1,5	5	30	22	17
Flysch	8*	12	70	23	18,5

* massima profondità indagata

In relazione ai parametri riportati in Tabella 4 si sottolinea quanto segue:

Riguardo allo strato di copertura e unità flyschoidi sono stati considerati i valori più cautelativi ricavati dalle fonti bibliografiche considerate, i cui studi sono stati eseguiti per mezzo di prove geognostiche eseguite nei dintorni dell'areale di progetto.

Dagli esiti delle prove MASW eseguite in sito si ritiene che il valore più cautelativo da considerare a scopi progettuali sia pari a 257,92 m/s relativo alla categoria sismica del sottosuolo "C". Tale considerazione è avallata anche dal fatto che i dati riportati in fonti bibliografiche relative a indagini eseguite anche a distanza di circa 10 km a sud dal sito hanno presentato anch'esse valori di velocità delle onde Vs tali da individuare una categoria sismica di sottosuolo B-C. Si può considerare adeguato alle caratteristiche del sottosuolo del sito il valore sopra indicato.

I parametri geotecnici descritti e considerati necessitano tuttavia di ulteriori indagini da effettuarsi in una fase esecutiva, al fine di una più precisa ricostruzione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo in esame; le ulteriori indagini verranno realizzate in prossimità degli aerogeneratori fornendo una descrizione puntuale più precisa delle caratteristiche del terreno.

4.4 Falda di progetto

Dalle informazioni dedotte dalle indagini, in entrambi i siti, alle profondità indagate, non è stata rilevata la presenza della falda negli strati superficiali di sottosuolo. Tuttavia, data la copertura costituita da materiale fine e le alternanze litologiche costituite da sabbie – argille – limi è possibile che si possano instaurare localmente falde di tipo sospese. Le pericolosità legate a questo fenomeno dipendono anche dalle litologie nelle quali si instaurano queste falde effimere. Infatti, i depositi Flyschoidi, con alternanze di materiale litoide e argille, potrebbero subire, a seguito di eventi di precipitazione intensa un rigonfiamento delle argille o in caso di carico consolidamento.

4.5 Campagne di Indagine

Le campagne di indagini integrative comprenderanno l'esecuzione di almeno un sondaggio per ubicato nell'area di ciascun aerogeneratore ad una profondità che dovrà essere minimo 1 volta e mezza la lunghezza del palo, con eventuale valutazione di esecuzione di prove geotecniche. La natura litologica dei terreni dove sorgeranno gli aerogeneratori potrebbe non permettere la verifica dei parametri geotecnici attraverso prove penetrometriche. Si prevede dunque anche una raccolta di campioni per prove di laboratorio oltre ad almeno n. 2-3 stendimenti geofisici di tipo MASW per la determinazione della categoria di sottosuolo.

5 INQUADRAMENTO SISMICO

Per quanto riguarda gli aspetti sismici la Normativa prende atto della classificazione fornita in prima approssimazione dall'O.P.C.M. N. 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono nelle zone 2, 3 e 4 esclusivamente per gli edifici considerati strategici e/o rilevanti ad uso pubblico.

In base alla classificazione sismica il comune di Campofelice di Fitalia e Villafrati, nei quali territori ricadono le opere in progetto è classificato come Zona Sismica 2 – Livello di pericolosità media.

La normativa di settore, la N.T.C. 2018 suddivide edifici e strutture in 4 categorie al § 2.4.3. Per quanto concerne la valutazione sismica, fa esplicito riferimento a dette classificazioni per quanto riguarda il "livello di valutazione" da adoperare nella assegnazione dei parametri sismici di riferimento.

L'analisi sismica predisposta a livello geotecnico sarà quindi limitata alla così detta "Fase di secondo livello", verrà quindi semplicemente riportata una valutazione numerica dei parametri a_g ed F_0 sulla base del tempo di ritorno T_c relativamente al punto centrale dell'areale in studio.

5.1 Inquadramento macrosismico

La Sicilia è considerata da tutti gli studi di settore e in particolare dal GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) come un'area caratterizzata da tutte le categorie di sismicità. In conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 2003 con la quale si stabiliscono i nuovi criteri per la classificazione sismica del territorio italiano, la Sicilia rientra in più classificazioni:

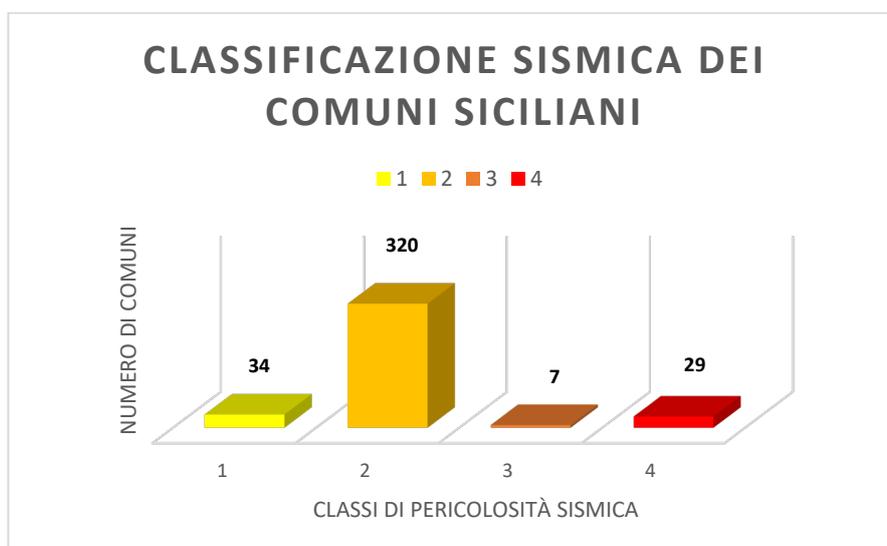


Figura 5-1: Classificazione sismica dei comuni della Sicilia

Di seguito viene riportata la categoria sismica per il territorio di Campofelice di Fitalia e di Villafrati, indicata nell'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la delibera della Giunta Regionale della Sicilia n. 408 del 19.12.2003.

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

Tabella 5: Descrizione zone sismiche

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

Nello specifico, per le zone di interesse i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi nell'intervallo $0,100 < a_g < 0,125$ per il comune di Campofelice di Fitalia e compresi nell'intervallo $0,125 < a_g < 0,150$ per il comune di Villafrati.

Cautelativamente si considererà questo ultimo valore, relativo all'accelerazione minima che individua la classe sismica 2.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

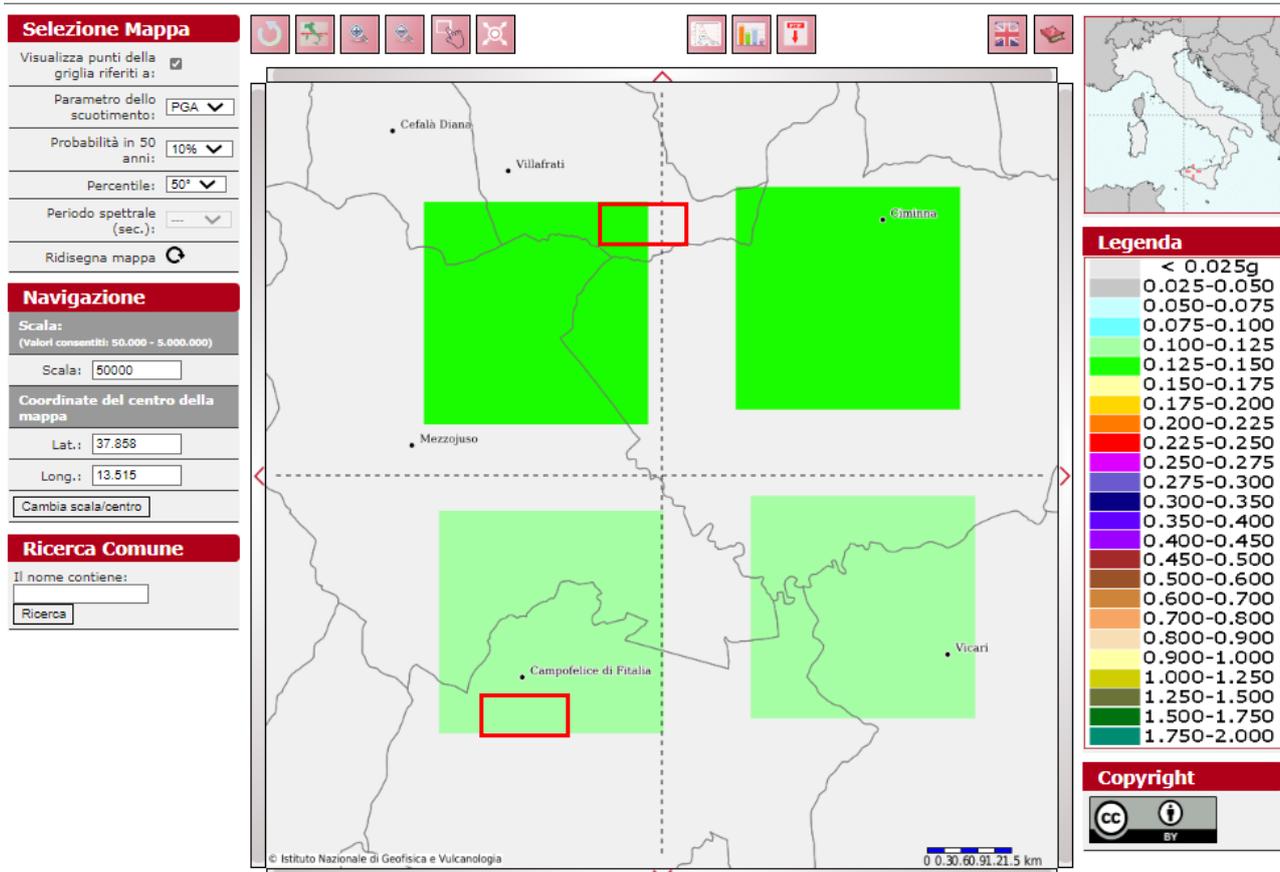


Figura 5-2: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (OPCM 3519-06)

5.2 Zone sismogenetiche

Dal punto di vista sismogenetico a grande scala, l'area si trova in vicinanza di fasce sismogenetiche attive come visibile nell'estratto di carta sismogenetica proposto di seguito;

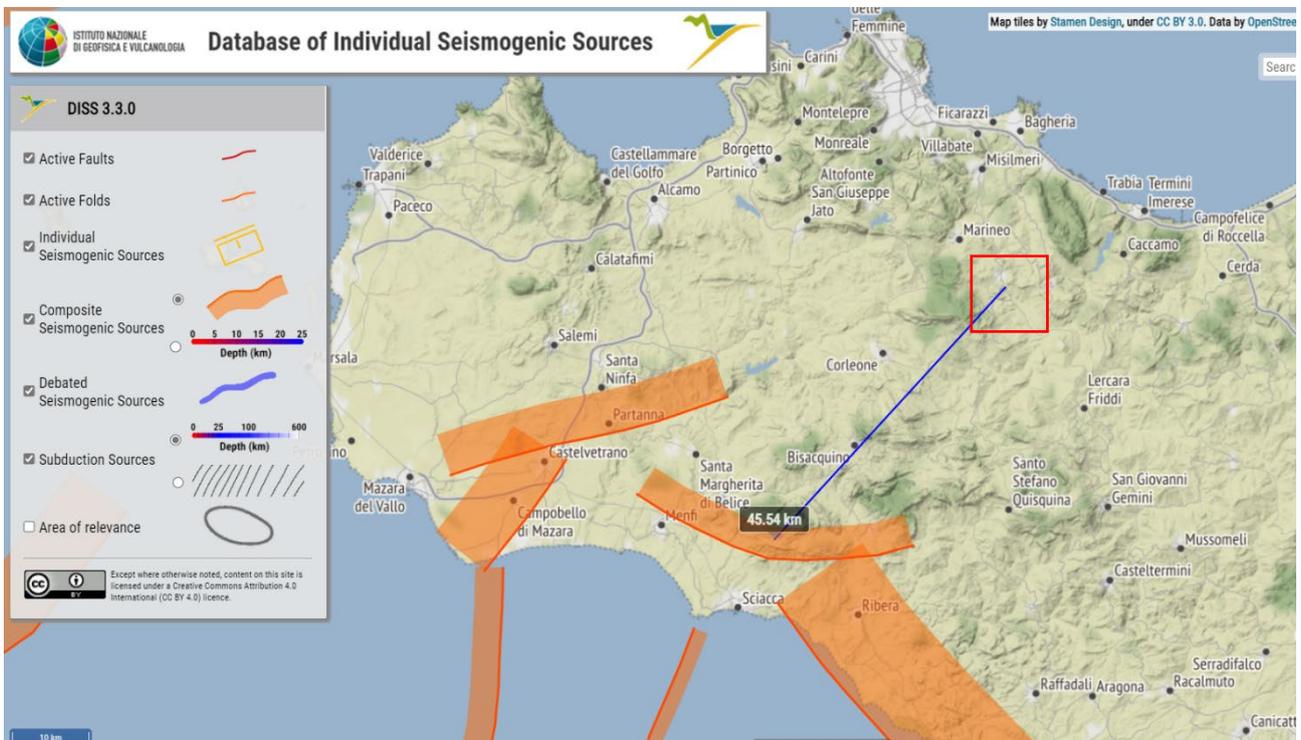


Figura 5-3: Zone sismogenetiche nelle vicinanze dell'area di studio

La fascia sismogenetica composta più vicina al sito è ubicata ad una distanza di circa 45 Km in direzione SW. La sorgente sismogenetica composta è una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche che non possono essere distinte regolarmente.

5.3 Sismicità storica e pericolosità sismica del territorio comunale

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

La fascia costiera orientale è caratterizzata da una notevole attività sismica, compresa tra lo stretto di Messina e il Siracusano; la zona settentrionale, lungo la dorsale dei Peloritani – Nebrodi – Madonie – Monti di Palermo; la zona del Belice, nella parte occidentale dell'isola e le zone a vulcanismo attivo, come quelle dell'Etna e delle isole Eolie. Altri terremoti si verificano nel Mar Tirreno meridionale, nell'area delle isole Egadi, nella zona del canale di Sicilia.

Queste caratteristiche sono ben evidenti nella mappa della sismicità storica che rappresenta i principali terremoti avvenuti nell'ultimo millennio, come da Figura 5-3. I terremoti più significativi di tutta la regione sono avvenuti nella Sicilia orientale. Qui si sono verificati gli eventi sismici del 1169 (magnitudo Mw 6.4) e 1693 (Mw 7.4), lungo la fascia costiera tra Siracusa e Catania, che hanno causato danni nell'area iblea nel Catanese, e quello più recente del 1908 (Mw 7.1) nello stretto di Messina, che ha provocato ampie devastazioni in Sicilia nord-orientale e in Calabria meridionale. In quest'area si sono verificati anche terremoti meno distruttivi nel 1543, 1624, 1818 e 1990.

Nel tirreno meridionale sono avvenuti terremoti di elevata magnitudo (1726, 1823, 1940, 2002), che hanno causato fino al grado 8 di MSC lungo la costiera settentrionale. Anche il canale di Sicilia è sede di una frequente, ma di bassa magnitudo, legata anche all'attività vulcanica sottomarina. Sebbene in misura minore rispetto al settore orientale, la Sicilia occidentale è interessata da attività sismica che può causare danni ingenti come avvenuto in occasione della sequenza sismica del 1968 nella valle del Belice. Numerose scosse nel giro di pochi giorni causarono danni gravi in una vasta area della Sicilia occidentale compresa tra la provincia di Agrigento, Trapani e Palermo; l'evento più forte si registrò il 15 gennaio del 1968 (Magnitudo Mw 6.3).

La sismicità della Sicilia, registrata dalla rete sismica nazionale, risulta essere moderata e concentrata principalmente nell'area etnea, sede di una sismicità molto intensa che accompagna spesso le fasi di attività eruttiva del vulcano; lungo la dorsale montuosa dei Peloritani – Nebrodi – Madonie che arrivano fino a Palermo, e che corre lungo tutta la parte settentrionale dell'Isola; in Sicilia sud-orientale e nord-orientale, in particolare nel Golfo di Patti. Gli eventi sismici recenti più forti sono il terremoto del 13 dicembre 1990 in Sicilia sud-orientale (Magnitudo MI 5.4 Mw 5.6) e quello del 6 settembre 2002 a largo di Palermo (MI 5.6 e Mw 5.9).

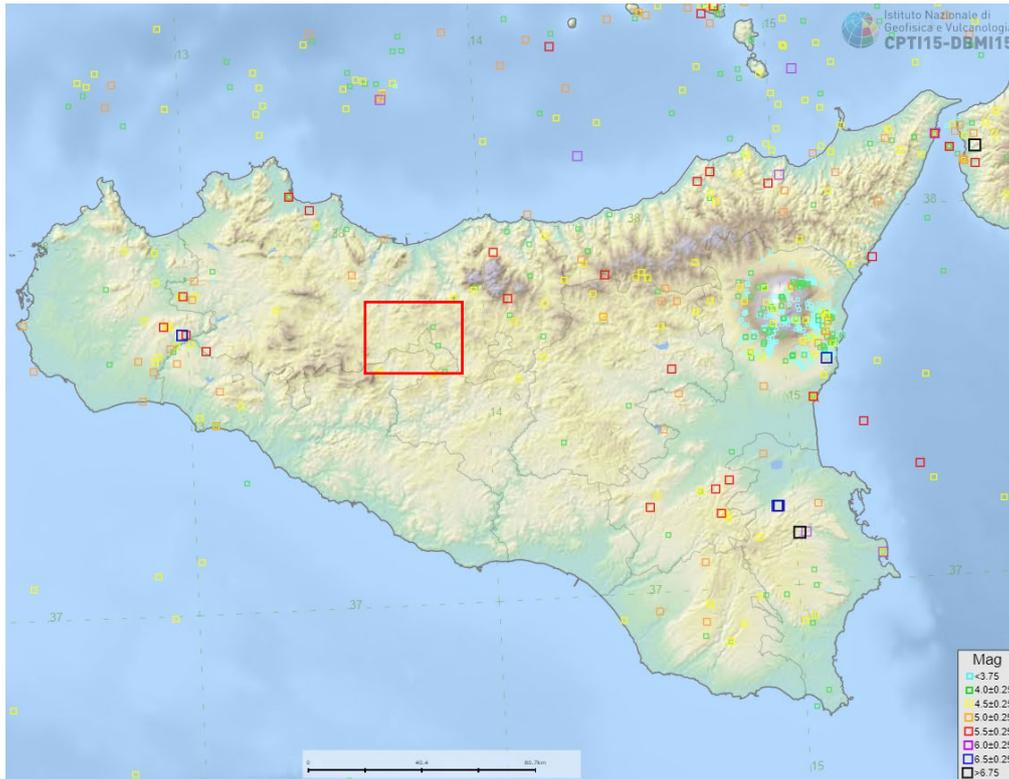


Figura 5-4: Mappa della sismicità storica contenuta nel Database of individual Seismogenetic Sources (Progetto DISS vv 3.3.0)

In particolare, in località Campofelice di Fitalia e di Villafrati sono stati registrati i seguenti terremoti con queste Magnitudo:

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
6-7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
NF	1996	12	14	00	18	4	Monti Madonie	45	5	4.27
4-5	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

Figura 5-5: Storico dei terremoti che hanno interessato l'area di studio

5.4 Definizione di sismicità dell'area

5.4.1 Premessa

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 norma 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

I valori di tali parametri sono riportati nella tabella esposta nell'Allegato A del decreto, grazie alla quale i parametri dell'area in esame vengono ottenuti per interpolazione lineare tra quattro punti di una griglia di punti prefissati sul territorio.

Utilizzando il software dedicato si ricavano gli spettri di risposta elastica delle componenti orizzontali di moto, per i diversi periodi di ritorno considerati dal D.M.

5.4.2 Effetti di amplificazione topografica

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico riportati nelle NTC 2018; per le sezioni e le misurazioni si è fatto riferimento alla cartografia disponibile.

Tabella 6: valori di amplificazione topografica e ubicazione opera in funzione della categoria topografica

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

5.4.3 Categoria del suolo di fondazione

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, ai fini della definizione della azione sismica di progetto definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni, i valori da utilizzare per V_s , NSPT e C_u sono valori medi): Nell'area di indagine è stata eseguita, mediante le prospezioni MASW, la determinazione del valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$, risultata pari a:

$$V_{s,30} \text{ (MASW)} = 257,92 \text{ m/s}$$

Il sottosuolo risulta quindi di categoria "C": Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, 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 180m/s e 360 m/s.

5.4.4 Pericolosità sismica di base

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

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 37.818896 [°]

Longitudine (WGS84): 13.483285 [°]

Punto d'indagine

Tabella 7: Parametri di pericolosità sismica così come previsti da NTC2018

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.036	2.401	0.222
SLD	50	0.046	2.407	0.258
SLV	475	0.109	2.524	0.327
SLC	975	0.137	2.566	0.343

Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5%

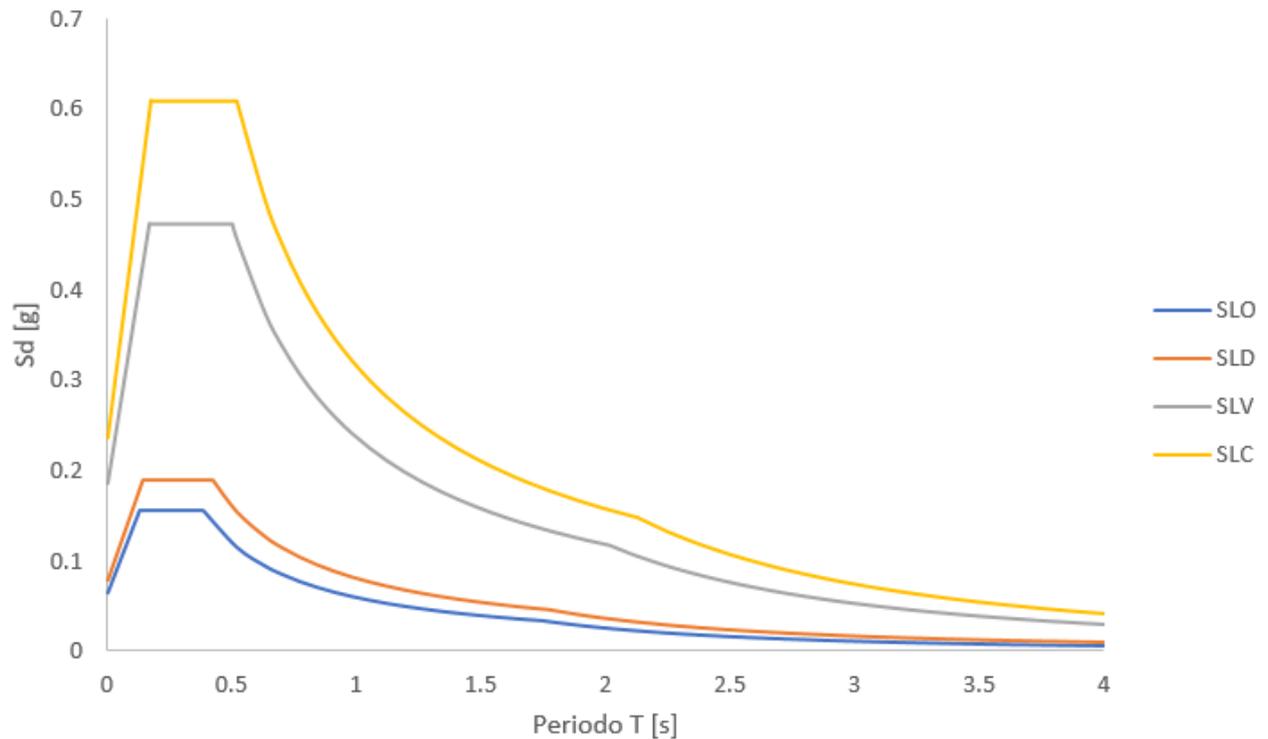
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=1.000$

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T2: Pendii con inclinazione media maggiori di 15°

Tabella 8: Stabilità dei pendii e fondazioni – NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.019	0.044	0.057
kv	0.008	0.009	0.022	0.028
amax [m/s ²]	0.065	0.077	0.185	0.236
Beta	0.240	0.240	0.240	0.240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali – Spettro di Progetto


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.036	2.401	0.222	1.500	1.725	1.2	1.800	1	0.128	0.383	1.744	0.065	0.156
SLD	1.0	0.043	2.436	0.256	1.500	1.646	1.2	1.800	1	0.140	0.421	1.772	0.077	0.188
SLV	1.0	0.103	2.543	0.330	1.500	1.514	1.2	1.800	1	0.167	0.500	2.012	0.185	0.472
SLC	1.0	0.131	2.577	0.348	1.500	1.488	1.2	1.800	1	0.173	0.518	2.124	0.236	0.609

5.5 Suscettibilità al fenomeno di liquefazione dei terreni

Si osserva che, in base ai dati disponibili, non è possibile all'attuale effettuare una verifica di suscettibilità dei terreni di fondazione al fenomeno di liquefazione, per cui si rimanda ad una successiva fase di progettazione per l'approfondimento della tematica.

6 CONCLUSIONI

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

I terreni presenti sono depositi di origine mista marina e continentale; si distingue uno strato superficiale di Terreno vegetale costituito di materiale sciolto a grana medio-fine, derivante dal disfacimento dei terreni di natura argilloso-limosa e uno strato sottostante appartenente alla formazione di Terravecchia caratterizzato da alternanze litologiche di rocce coerenti con livelli pseudo-coerenti costituiti da argille siltoidi, alternate a sottili livelli arenacei con intercalazioni di calcareniti gradate, e da argille sabbiose e quarzoareniti gradate (flysch).

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione nell'area in esame si è fatto riferimento ai dati relativi alla campagna geognostica del 2003 e a informazioni bibliografiche relative all'area di studio, per la valutazione preliminare in fase autorizzativa. Considerando la forte eteropia di facies sia verticale che orizzontale caratteristica delle formazioni flyschoidi, i dati attuali usati per la ricostruzione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo in esame dovranno essere integrati in fase esecutiva da indagini puntuali.

Dalle indagini svolte in loco nel 2003 non si evince la presenza di falda acquifera, almeno fino alla profondità massima indagata di 8 m da p.c, tale condizione dovrà essere verificata con prove in sito prima dello sviluppo della fase esecutiva del progetto.

Dal punto di vista sismico, il comune di Campofelice di Fitalia e Villafrati ricade in zona sismica 2, rispetto alla classificazione eseguita dall'INGV per il territorio nazionale, caratterizzata da una pericolosità sismica media; il sito in esame invece risulta ubicato in una zona con accelerazione al suolo attesa massima di 0.150 g. Le indagini geofisiche di tipo MASW reperite da bibliografia, svolte nelle aree limitrofe al sito di indagine, hanno evidenziato che le classi sismiche più ricorrenti nell'area sono la B e la C, quindi, in via cautelativa la categoria sismica di sottosuolo attribuita all'intera area di progetto è la tipo "C".