

REGIONE
BASILICATA



Comune
FORENZA



Comune
PALAZZO
SAN GERVASIO



Provincia
POTENZA



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 7 AEROGENERATORI E
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

RELAZIONE GEOLOGICA

ELABORATO

A.2

PROPONENTE:



SKI W A9 s.r.l.

via Caradosso n.9
Milano 20123
P.Iva 12655800964
skiwa9@unapec.it

PROGETTO E SIA:



ATECH srl

Via Caduti di Nassirya, 55
70124- Bari (BA)
pec: atechsrl@legalmail.it
Ing. Alessandro Antezza

II DIRETTORE TECNICO

Ing. Orazio Tricarico



SOLARITES s.r.l.

piazza V. Emanuele II n.14
Ceva (CN) 12073

CONSULENZA:

Geol. Giuseppe Amorosi



0	Novembre 2023	B.C.C	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Progetto Definitivo
EM./REV	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

Sommario

PREMESSA	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO	8
CENNI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI GENERALI	11
Idrogeologia.....	11
INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
Sondaggi stratigrafici consultati.....	13
Indagine sismica.....	16
CARATTERI GEOTECNICI	17
CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO	21
Pericolosità sismica di base – accelerazione sismica attesa.....	25
Modello sismico del sito - valutazione dell'azione sismica	27
Modello sismico del sito – definizione delle condizioni stratigrafiche e topografiche	28
Modello sismico del sito - effetti di amplificazione locale	30
NOTE CONCLUSIVE.....	32

ALLEGATI

- TAVOLA A.2.1 - COROGRAFIA (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.2 - CARTA GEOLOGICA (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.3 - CARTA GEOMORFOLOGICA (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.4 - CARTA IDROGEOLOGICA (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.5 - SEZIONI GEOLOGICHE (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.6 - PAI - CARTA DEL RISCHIO (in scala 1:5.000)
- TAVOLA A.2.7 - INDAGINI GEOFISICHE

PREMESSA

Nella presente relazione vengono riportati i risultati dello studio geologico e geologico-tecnico preliminare, compiuto sui terreni interessati dalla progettazione di un "Parco Eolico per la produzione di energia elettrica in Agro del Comune di Forenza.

A tal proposito sono stati eseguiti i necessari studi e redatta la seguente relazione volta alla definizione di un quadro geologico-ambientale funzionale e di ausilio alle più opportune scelte tecniche da adottare nelle successive fasi progettuali.

Gli interventi da realizzare sono rappresentati da:

- fondazioni di ancoraggio per le torri eoliche;
- le strade necessarie a collegare tutti gli aerogeneratori;
- trincee per il posizionamento dei cavi per il trasporto dell'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore.

Lo scopo dello studio presente è volto a definire il modello geologico-geotecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, preliminari con lo scopo precipuo di valutare, nella fase esecutiva, il conseguente livello di pericolosità geologica ed il comportamento prima e dopo la realizzazione dell'intervento in progetto, così come richiesto dalla normativa tecnica vigente ed in particolare della **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, del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" e delle loro relative norme di attuazione, in ottemperanza della **LEGGE REGIONE BASILICATA 6 agosto 1997 n. 38** e tenendo in debito conto le prescrizioni del *Piano dell'Autorità di Bacino della Basilicata* di cui alla **DELIBERA n. 26 del 5 dicembre 2001 (G.U. n. 11 del 14 gennaio 2002)**.

La consultazione delle norme di attuazione del **PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO** e della cartografia ad esso allegato ha confermato che l'area in oggetto non è soggetta a rischio idraulico ed idrogeologico, per cui l'area non è soggetta a prescrizioni particolari o restrizioni ai sensi dello stesso **Piano**.

I metodi e i risultati delle indagini verranno esaurientemente esposti e commentati in questa Relazione Geologica.

Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi nella zona interessata e si è portato a termine il seguente piano di lavoro:

- Ricerca bibliografica di pubblicazioni e studi di carattere geologico effettuati nell'area d'interesse;
- Rilevamento geologico e geomorfologico di un'area sufficientemente ampia e delle zone specificatamente interessate dalle opere di progetto;

- Raccolta ed analisi di informazioni e dati provenienti da precedenti studi di carattere geologico ricadenti nell'area oggetto d'intervento ed in aree attigue.
- Indagini indirette consistenti n°7 prospezioni sismiche attive tipo MASW.

Obbiettivo dello studio è stato quello di fornire un quadro di riferimento geologico e tecnico dei terreni affioranti nell'area esaminata al fine di una congrua valutazione delle caratteristiche geostrutturali e delle conseguenti scelte progettuali.

In particolare si dà evidenza del quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico con riferimento all'acclività dei versanti ed al rischio frana, anche in relazione ai possibili impatti che la realizzazione dell'impianto e le opere civili connesse (strade di accesso, fondazioni, cavidotti interrati), potrebbero comportare sulla componente suolo e sottosuolo.

Ciò anche al fine di orientare le successive fasi di lavoro da realizzare per la progettazione esecutiva che prevedono la:

- Realizzazione campagna indagini geognostiche;
- Predisposizione di un puntuale studio di compatibilità geologica e geotecnica;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Lo studio ha peraltro puntato ad individuare preliminarmente le possibili problematiche di ordine geologico tecnico per poter pianificare e programmare le più opportune misure di prevenzione, protezione e mitigazione della pericolosità geomorfologica.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'intervento è ubicata nel comune di Forenza (PZ) nel settore orientale del territorio comunale verso il limite amministrativo comunale con il territorio del comune di Palazzo San Gervasio (PZ). In sintesi l'area confina ad Est e a Nord con il comune di Palazzo San Gervasio, a Sud con il comune di Acerenza e ad Ovest è presente l'abitato di Forenza ad una distanza di 5 km. L'area è inquadrabile nella tavoletta IGM della serie 25/V n°187 I SE "Forenza" (vedasi Fig.1) mentre per quanto riguarda la CTR della Regione Basilicata in scala 1:10.000, l'area ricade nelle sezioni n°452110 "Forenza", n°452120 "Chiancata delle Tavole" e n°452150 "Le Camarelle".

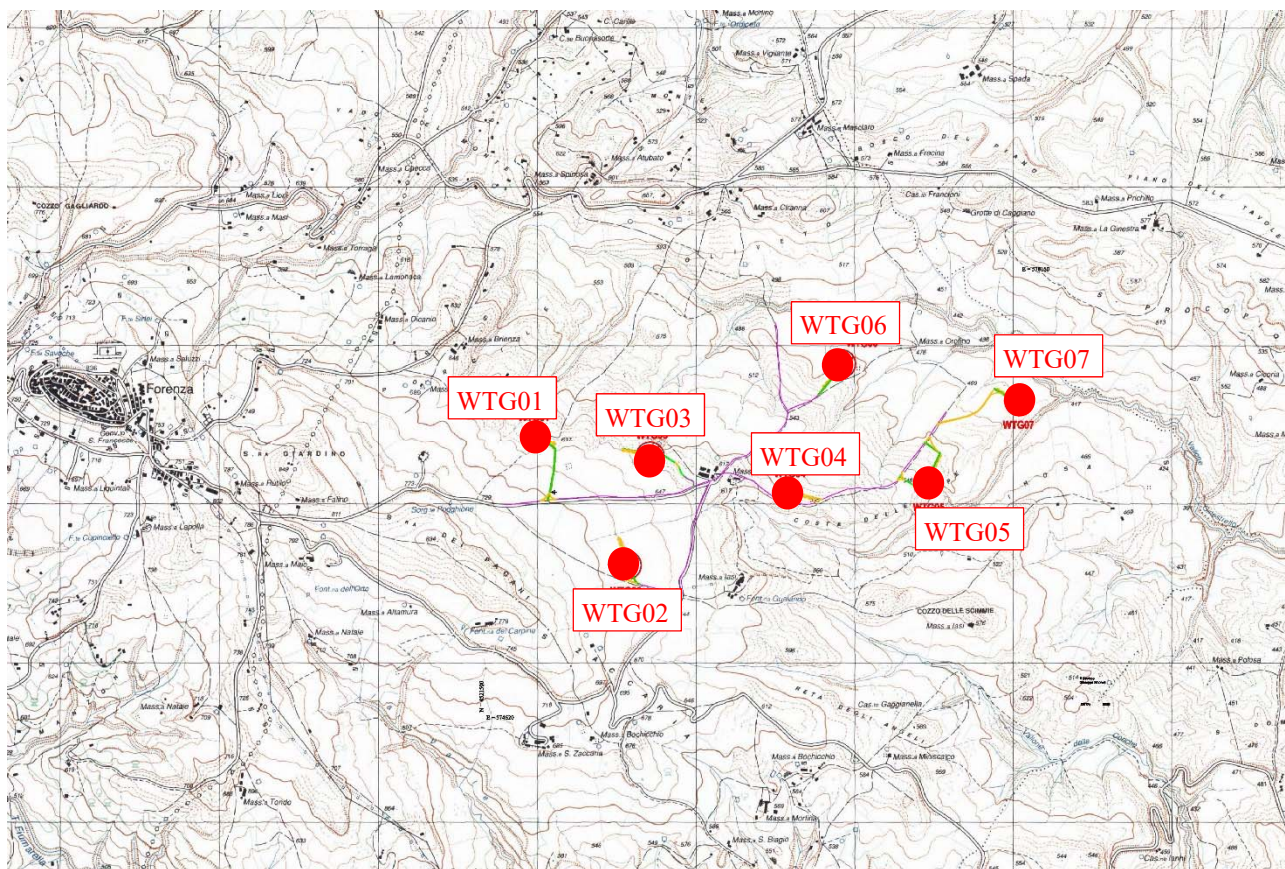


Fig.1: stralcio non in scala tavoletta IGM n°187 I SE della serie 25/V

Su tale territorio si prevede la realizzazione di un parco eolico, per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, con l'installazione di n° 7 aerogeneratori.

Circa la precisa ubicazione degli stessi, le caratteristiche costruttive di tutte le opere previste, i fogli e le particelle catastalmente individuate, si rimanda agli elaborati tecnici. Strutturalmente, per ciò che attiene gli aerogeneratori, si prevede la realizzazione di fondazioni a pianta rettangolare o circolare di circa 12 m. di diametro, alte circa 1,80/3,00 m e posta ad una profondità di circa 3 m dal p.c., poggianti su pali trivellati in c.a. Ø 800/1000 mm, lunghi all'incirca 15-20 m.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame ricade sul fronte della catena appenninica, nella zona di transizione al bacino di sedimentazione Plio-Pleistocenico dell'Avanfossa ("Fossa Bradanica", Tropeano et al., 2002) (Fig.2).

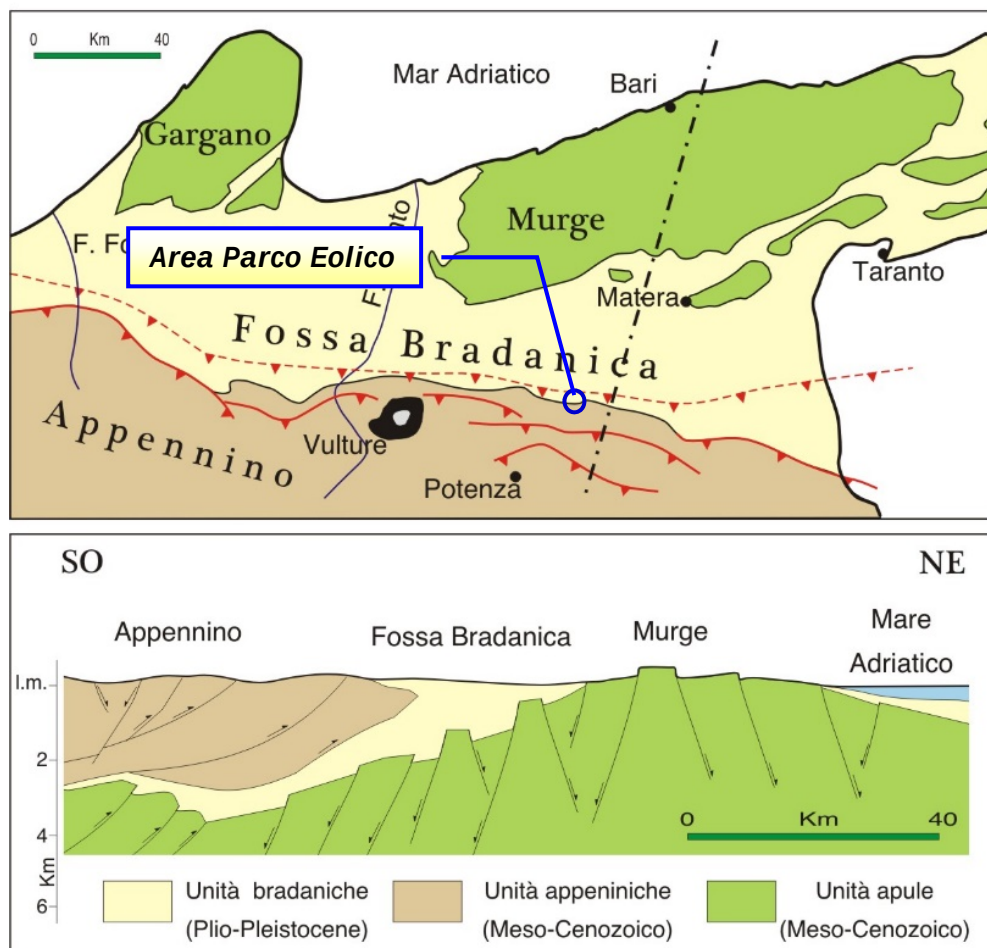


Fig.2 : Schema stratigrafico strutturale di inquadramento

Il margine appenninico (fronte della catena) è costituito da una serie di successioni, quali: Formazione dei Galestri, Flysch Rosso, Argille Varicolori, Flysch Numidico, Unità di Serra Palazzo e Unità della Daunia; tutte strutturate secondo un ventaglio imbricato (Pescatore et al., 1999 e bibliografia contenuta).

Come visibile più dettagliatamente nello schema tettonico di figura 3, l'area analizzata si trova a cavallo del fronte delle Unità Tettoniche della Catena Appenninica e quelle plio-pleistoceniche della Fossa Bradanica.

In particolare ad Ovest del sito analizzato, affiorano i depositi medio-alto-miocenici (bacino irpino, Pescatore et al., 1999) appartenenti alle Unità della Daunia, costituiti nel caso specifico dal Flysch di Faeto rappresentato da calcareniti bioclastiche e marne a foraminiferi di età Langhiano-Tortoniano.

Ad Est il sito analizzato è caratterizzato, come riportato, dalle unità plio-pleistoceniche della Fossa Bradanica.

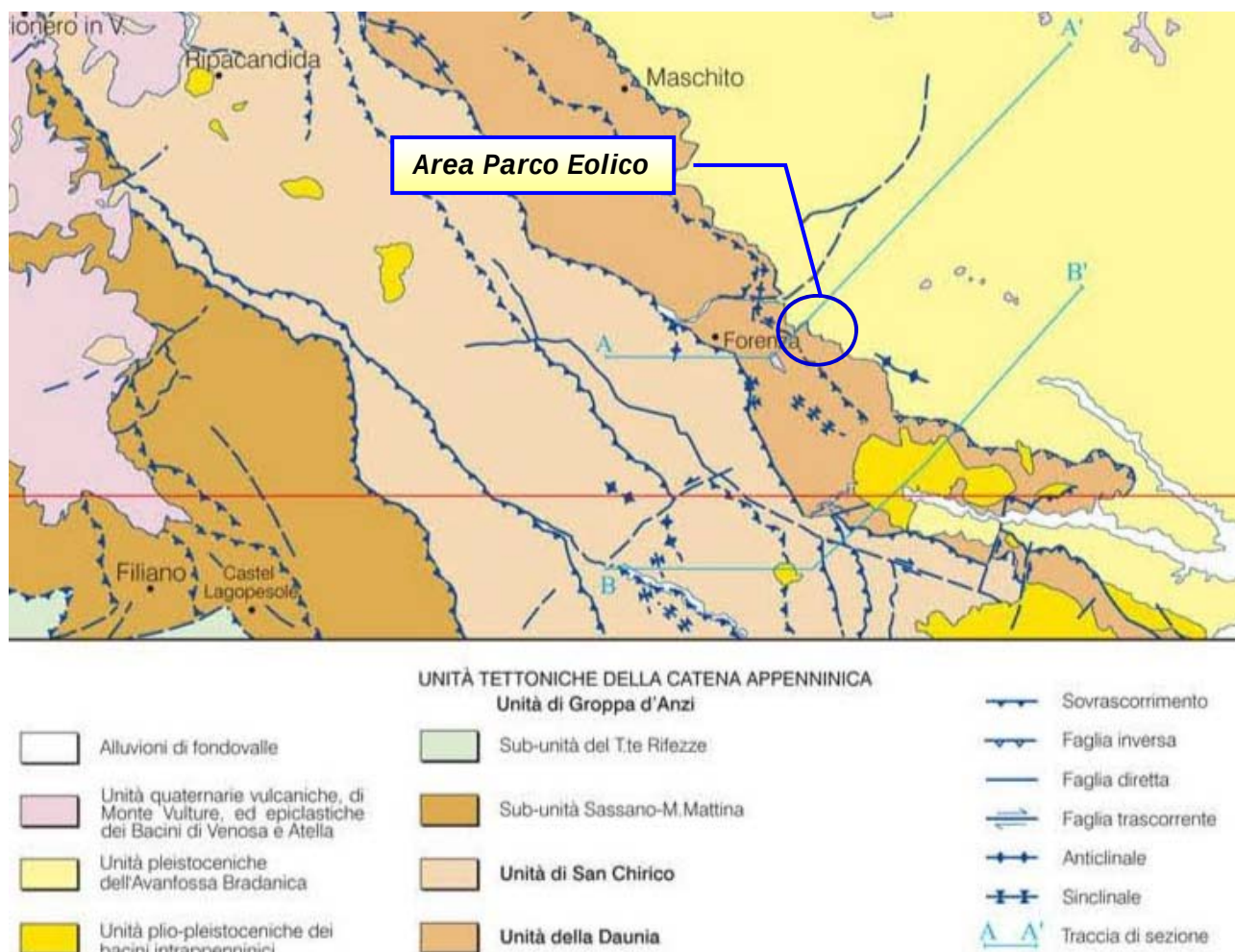


Fig.3 – Schema tettonico del territorio analizzato

(tratto da https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/452_RIONERO_IN_VULTURE/Foglio.html)

Il substrato della Fossa Bradanica è costituito da Calcari mesozoici su cui poggiano, in discordanza sedimenti del ciclo plio-pleistocenico. La base di tale ciclo è costituita a luoghi, da rocce appartenenti alla Calcarenite di Gravina, e passa in alto, ai sedimenti appartenenti alla formazione delle Argille Subappennine (Pleistocene medio).

I sedimenti pleistocenici di chiusura dell'Avanfossa, rappresentati dalle Argille Azzurre, dalle Sabbie di Monte Marano e dal Conglomerato di Irsina (Fig. 4).

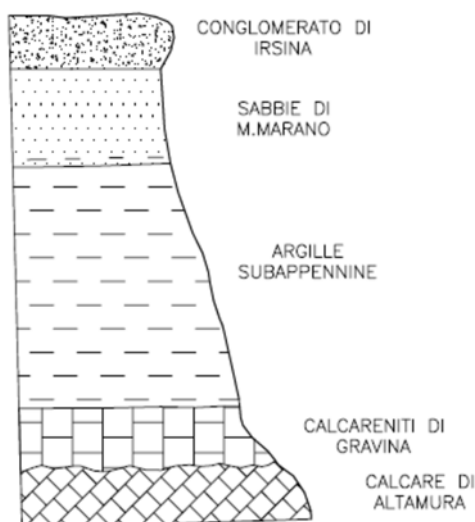


Fig. 4: Successione stratigrafica delle formazioni della Fossa Bradanica

(tratto da Pieri et alii, 1997)

In letteratura le prime vengono descritte come argille marnose più o meno siltose, di colore grigio azzurro o giallastro, contenenti un'associazione di fossili marini; le seconde come sabbie quarzose gialle, a grana fine e media, talora leggermente cementate, e contenenti una scarsa macrofauna; infine i conglomerati sono caratterizzati come un insieme di ciottoli poligenici a matrice sabbiosa rossastra e calcarifera.

Il passaggio stratigrafico delle argille alle soprstanti sabbie giallastre avviene a varie profondità dal sottosuolo ed è rappresentato, localmente, da un passaggio quasi netto con contatto sub-orizzontale.

Quasi tutto il paesaggio circostante il settore orientale del parco eolico è caratterizzato dalla formazione delle argille subappennine; la testa dei versanti è caratterizzata da litologie sabbioso conglomeratiche affioranti principalmente sul top dei rilievi collinari circostanti mentre la parte di valle presenta litologie alluvionali.

Il passaggio verso l'alto a formazioni sabbioso-conglomeratiche rappresentanti i depositi di chiusura del ciclo sedimentario potrebbe ascriversi alla Formazione di Monte San Marco.

Recenti studi di carattere stratigrafico (Sabato, 1996; Sabato et al., 2004), descrivono in dettaglio la successione stratigrafica di detta unità geologica, la quale risulta essere costituita dalla Formazione delle Argille subappennine, alla base, sulle quali giacciono, in contatto stratigrafico, un insieme di sedimenti sabbioso-conglomeratici, ascrivibili alla Formazione di Monte San Marco, avente geometria complessa e spessore di circa 60 m, i cui caratteri litostratigrafici, pur mostrando un generale trend regressivo, variano sia in senso verticale sia laterale. In rapporto discordante ed erosivo su tale insieme di sedimenti si osserva un'unità discontinua, conglomeratico-sabbiosa, con abbondante matrice sabbiosa rossastra, di spessore molto variabile, fino ad un massimo di circa 10 m presente nei top collinari del sito analizzato.

GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area in esame è situata a Est del ambito urbano di Forenza in località Casalini ed è caratterizzata da depositi appartenenti al Flysch di Faeto ad Ovest ed unità derivanti dalla regressione marina plio-pleistocenica della Fossa Bradanica ad Est.

In particolare il sito è ubicato nel Foglio n°187 Melfi della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Fig.5) e nel foglio n°452 Rionero in Vulture della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Questi risultano costituiti dalla seguente successione litologica esposta dai più recenti e visualizzabile in Tavola 2 - Carta Geologica in scala 1:5.000

- Detrito di versante: materiali sono rappresentati da terreno a struttura indistinta con presenza di ciottololame i cui elementi sono di dimensioni variabili intorno ai 10,0 cm. Possono essere presenti lungo i fianchi dei versanti ove sono installati gli aerogeneratori tuttavia gli spessori sono ovunque esigui, in genere non superano il metro.
- Depositi Alluvionali: costituiti da ghiaie clasto-sostenute con matrice sabbiosa e intercalazioni di lenti sabbioso-argillose, sospesi rispetto ai principali impluvi presenti più a nord del parco eolico (Pleistocene Superiore – Olocene).
- Conglomerati poligenici o Sistema di Palazzo San Gervasio (denominazione tratta da Note Illustrative del Foglio 452 Rionero in Vulture, Progetto CARG Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000): sono presenti estesamente in corrispondenza dell'area in esame e, nell'ambito dei limiti dell'area del parco eolico; in particolare dalla Carta Geologica allegata si evince che su detta unità geologica ricade la torre eolica denominata WTG04. Si tratta di un conglomerato di natura poligenica, i cui elementi, di dimensioni variabili intorno ai 10,0 cm, sono prevalentemente calcareo-arenacei in scarsa matrice sabbiosa ed a cemento calcareo. Presentano un elevato grado di cementazione ed affiorano in grossi strati e/o bancate massicce. La parte sommitale del litosoma conglomeratico è spesso sovrastata da una fascia di transizione, in cui prevale la frazione sabbiosa rispetto a quella ghiaiosa, il cui aspetto è reso tipico da frequenti inclusioni di calcare evaporitico di colore biancastro ed aspetto polverulento, depositatesi probabilmente per risalita capillare di acque ricche di carbonati.
- Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi o Formazione di Monte San Marco: sull'unità geologica in questione ricade la torre eolica WTG03. Si tratta di sabbie color giallo-ocra a composizione granulometrica medio-fine, di natura quarzoso calcarea; il passaggio fra conglomerati e sabbie avviene con frequenti eteropie

lateralali e con intercalate litofacies intermedie ed è spesso obliterato da modeste quantità di materiale detritico ed eluvio-colluviale. A luoghi evidenziano laminazione piano-parallela alternata a sottili set a laminazione incrociata; presentano frequenti intercalazioni di sottili livelli di arenarie mediamente cementate alternati a livelli limosi e limoso-sabbiosi. Affiorano lungo le superfici in pendio prospicienti il sito in esame e lo spessore complessivo non è inferiore a 20.0 m ca., la giacitura è suborizzontale o debolmente inclinata verso NE.

- Argille Subappennine: sono presenti estesamente nella zona orientale del parco eolico. Su detta unità geologica ricadono le torri eoliche WTG01, WTG 05, WTG 06, WTG07. Si tratta di siltiti grigio-azzurre, sovraconsolidate costituenti la parte basale del ciclo della Fossa Bradanica nel sito analizzato. Litologicamente trattasi di argille più o meno marnose di colore grigio-azzurro (bianco-giallastro in superficie per l'alterazione), con intercalati alcuni livelli limoso-sabbiosi. In genere si presenta compatta e disposta in grossi banchi omogenei. Da un punto di vista stratigrafico, esse sono rappresentate da una potente successione argilloso-siltosa, d'età compresa tra il Pliocene superiore e il Calabrian (Pleistocene medio). Le argille limose e limi sabbiosi di colore grigio-azzurro, si presentano generalmente in strati, con spessore variabile da qualche decimetro ad oltre 1m. Localmente si rivengono piccole lenti sabbiose sempre più concentrate man mano che si procede verso il tetto della formazione. Lo spessore della formazione, in affioramento, risulta essere superiore ai 100 m.
- Formazione del Flysch della Daunia (Miocene): detta unità geologica, conosciuta anche come Flysch di Faeto, appartiene alla successione sedimentaria dell'Unità Irpina; in essa ricade la torre eolica WTG01. Si tratta di un flysch torbiditico prevalentemente calcareo - marnoso con livelli o strati argillosi. Sono stati riconosciuti tre differenti membri: in basso ed in alto prevale una componente pelitica, mentre la parte centrale è calcarea. Litologicamente si possono distinguere calcari, calcari marnosi, calcareniti a liste e noduli di selce e argille con colori che vanno dal verde chiaro al grigio, al biancastro. Sono presenti anche litotipi brecciosi e calciruditi intraformazionali. Questa formazione affiora estesamente nella porzione più occidentale dell'area di studio, caratterizzando gran parte dei rilievi del margine appenninico interessato direttamente o indirettamente dal parco eolico.

CENNI GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI GENERALI

L'area esaminata è ubicata ad Est, Nord-Est dell'abitato di Forenza F°. 187 della Carta d'Italia I S.E. in località Casalini.

L'area oggetto di studio comprende le spianate di sedimentazione per regressione marina presenti nel settore centro-orientale del sito analizzato che poggiano in discordanza angolare sui terreni dei Flysch appenninici.

In particolare i terreni che vi affiorano, in relazione alle diverse caratteristiche litologiche e meccaniche possedute, hanno subito processi di erosione differenziata in condizioni paleoclimatiche diverse, determinando l'attuale aspetto morfologico del sito: esso si identifica, infatti, con la sommità di colline medio basse delimitate da versanti con una pendenza media variabile.

Le superfici topografiche che caratterizzano le singole aree dove allocare gli aerogeneratori presentano generalmente un andamento orizzontale o caratterizzato da deboli pendenze nella loro fascia perimetrale; tali superfici si trovano ad una distanza di sicurezza dalle aree caratterizzate da pendenze più marcate.

I versanti, comunque, sono intatti per gran parte della loro estensione; il rilevamento effettuato non ha evidenziato allo stato attuale elementi di superficie che possano ricondursi alla presenza di fenomeni dislocativi profondi, si evidenziano invece circoscritti fenomeni di dissesto superficiale consistenti in crolli di blocchi di conglomerato e fenomeni evolutivi di piccoli scoscendimenti che interessano modesti spessori della coltre superficiale degradata.

E' necessario specificare immediatamente, comunque, che tali superfici in pendio non saranno interessate dagli insediamenti in progetto.

Nell'allegato Tavola 3 – Carta Geomorfologica in scala 1:5.000 sono indicate le aree soggette a fenomeni di colamento e di instabilità delle coltri superficiali comunque non interessanti i punti d'intervento in progetto.

Idrogeologia

Le acque di precipitazione che raggiungono il suolo sono ripartite in aliquota di scorrimento superficiale, e d'infiltrazione nel sottosuolo, secondo il grado di permeabilità dei terreni affioranti.

Nel caso specifico della zona del Parco Fotovoltaico in progetto le caratteristiche granulometriche e litologiche degli strati superficiali permettono l'infiltrazione di acqua di precipitazione meteorica favorendo una circolazione di acqua nel sottosuolo, consentendo in tal modo l'accumulo di acqua di falda.

Dai rilievi di superficie e dai dati di bibliografia è emerso che la falda acquifera che interessa i terreni pleistocenici della Fossa Bradanica, si trova ad una profondità di circa 25.0 m ed è trattenuta alla base dalla formazione delle argilloscisti poco permeabile.

Nell'elaborato Tavola 4 – Carta Idrogeologica in scala 1:5.000 sono evidenziati i terreni a vario grado di permeabilità ed i loro rapporti stratigrafici.

L'idrologia superficiale dell'area di stretto interesse è rappresentata da fossi con fondo piatto che, nella parte medio alta delle colline ad Ovest incidono i terreni dei Flysch appenninici, mentre nella parte bassa e centro orientale solcano i terreni appartenenti ai depositi di sedimentazione per regressione marina.

Tali fossi formano un reticolo dendritico che termina nel collettore principale della zona rappresentato al Vallone delle Scimmie. Gran parte dell'anno i fossi sono in secca mentre si riattivano in occasione delle stagioni autunnali ed invernali quando la piovosità della zona aumenta notevolmente. Per quanto attiene l'aspetto idrogeologico, le caratteristiche morfologiche e litologiche affioranti sono tali da giustificare l'assenza di un reticolo fluviale significativo.

I depositi sabbioso-conglomeratici, infatti, assumono valori elevati del grado di permeabilità per porosità variabili da medio basse a medio elevate con valori del coefficiente di permeabilità che possono essere $K > 10^{-2}$ cm/sec (Celico, 1986).

Tali caratteristiche associate ad una morfologia nel suo complesso sub-pianeggiante condizionano la circolazione idrica superficiale favorendo l'infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche; ciò fa sì che l'infiltrazione efficace costituisca un'aliquota non trascurabile delle acque di precipitazione, originando nel sottosuolo un sistema acquifero complesso, generalmente anisotropo e discontinuo, talvolta costituito da falde pellicolari sospese. Nella maggior parte dei casi trattasi tuttavia di modesti accumuli a carattere estremamente localizzato.

La restante parte delle acque di precipitazione è prevalentemente soggetta a scorrimento il cui deflusso è condizionato dalle caratteristiche morfologiche delle superfici topografiche. Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, va evidenziato che la bibliografia dell'area analizzata lascia intendere che il sottosuolo è sede di una falda idrica dai notevoli caratteri di eterogeneità e anisotropia, la cui superficie piezometrica si rinviene ad una profondità variabile ubicata nell'interfaccia sabbie/argille. Per ciò che attiene all'aspetto idrologico, può essere utile citare i dati di uno studio della piovosità della Regione Basilicata eseguito dal dott. Stelluti e pubblicato nel settembre 2009 dall'ALSIA (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura) nel quale mensilmente si riportano i dati della piovosità raccolti nell'arco di tempo trascorso tra il 1971 e 2001.

Le precipitazioni medie mensili superano ovunque i 62 mm durante il trimestre novembre – gennaio (periodo più piovoso), mentre nel corso del trimestre giugno – agosto si scende fino a quantità di 27 mm. Valutando a grandi linee l'evapotraspirazione potenziale secondo THORNTHWAITE è possibile definire un Tipo Climatico intermedio tra i tipi C1 B' 2d' e C1 w2 B' 2d': "Tipo Climatico Mediterraneo, marittimo, inverni piovosi ed estati secche, con notevole efficienza termica in estate".

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione della litostratigrafia dell'area d'interesse si è fatto riferimento a dati di letteratura e dati stratigrafici in possesso dello scrivente in particolare si tratta di 2 sondaggi meccanici a rotazione, eseguiti nello stesso territorio comunale per altri scopi progettuali, in corrispondenza dei principali affioramenti presenti nella zona del parco eolico.

Il sondaggio S1 è stato terebrato sui terreni fliscioidi della successione del Flysch di Faeto mentre il sondaggio S2 in corrispondenza dell'affioramento della successione sabbioso – argillosa plio – pleistocenica.

In corrispondenza di ogni torre eolica è stata inoltre eseguita una prospezione sismica attiva tipo MASW la cui ubicazione è indicata in Tavola G1 – Corografia ed Ubicazione Indagini (in scala 1:5.000).

Sondaggi stratigrafici consultati

L'ubicazione dei sondaggi consultati è mostrata in Fig.6a.

La stratigrafia del sondaggio S1 (Fig.6b), ha evidenziato la presenza di un deposito detritico superficiale di circa 0.80 m, al di sotto del quale è stato rinvenuto, fino alla profondità di 6 m dal p.c., una successione prevalentemente lapidea costituita da strati arenacei giallastri alternati a sottili straterelli argillosi grigio azzurri. Segue un livello di spessore di 1.20 m di argilla grigio azzurra con strati centimetrici di arenaria. Questi ultimi caratterizzano il livello sottostante, di spessore intorno a 0.70 m e costituito da una successione di strati arenacei decimetrici. Segue fino a fondo foro una successione di argilla scagliosa di colore variabile dal grigio scuro al verde opaco.

In questo sondaggio sono stati prelevati 2 campioni indisturbati alle profondità di 3.00 metri e 9.00 metri, rispettivamente nel livello argilloso arenaceo e in quello argilloso scaglioso. Questa descrizione stratigrafica è rappresentativa della successione stratigrafica del Flysch di Faeto.

Nella stratigrafia del sondaggio S2 (Fig.6b) è stato individuato un detrito sabbioso per meno di 1.5 m, seguito, fino alla profondità di 10.00 m, da una successione di livelli prevalentemente limoso – argillosi, alternati a livelli millimetrici di sabbia rossiccia e di argilla grigio azzurra. Da 9.0 m per 30 cm è presente un livello con elementi lapidei di dimensioni centimetriche e decimetriche posti in una matrice limo argillosa. Il resto del sondaggio fino a fondo foro ha consentito di individuare una successione essenzialmente argillosa con argille grigiastre. Questa descrizione stratigrafica è rappresentativa dei depositi plio-pleistocenici. Sono stati prelevati 2 campioni, entrambi all'interno del livello limoso, alle profondità di 3.0 m e di 9.0 m.

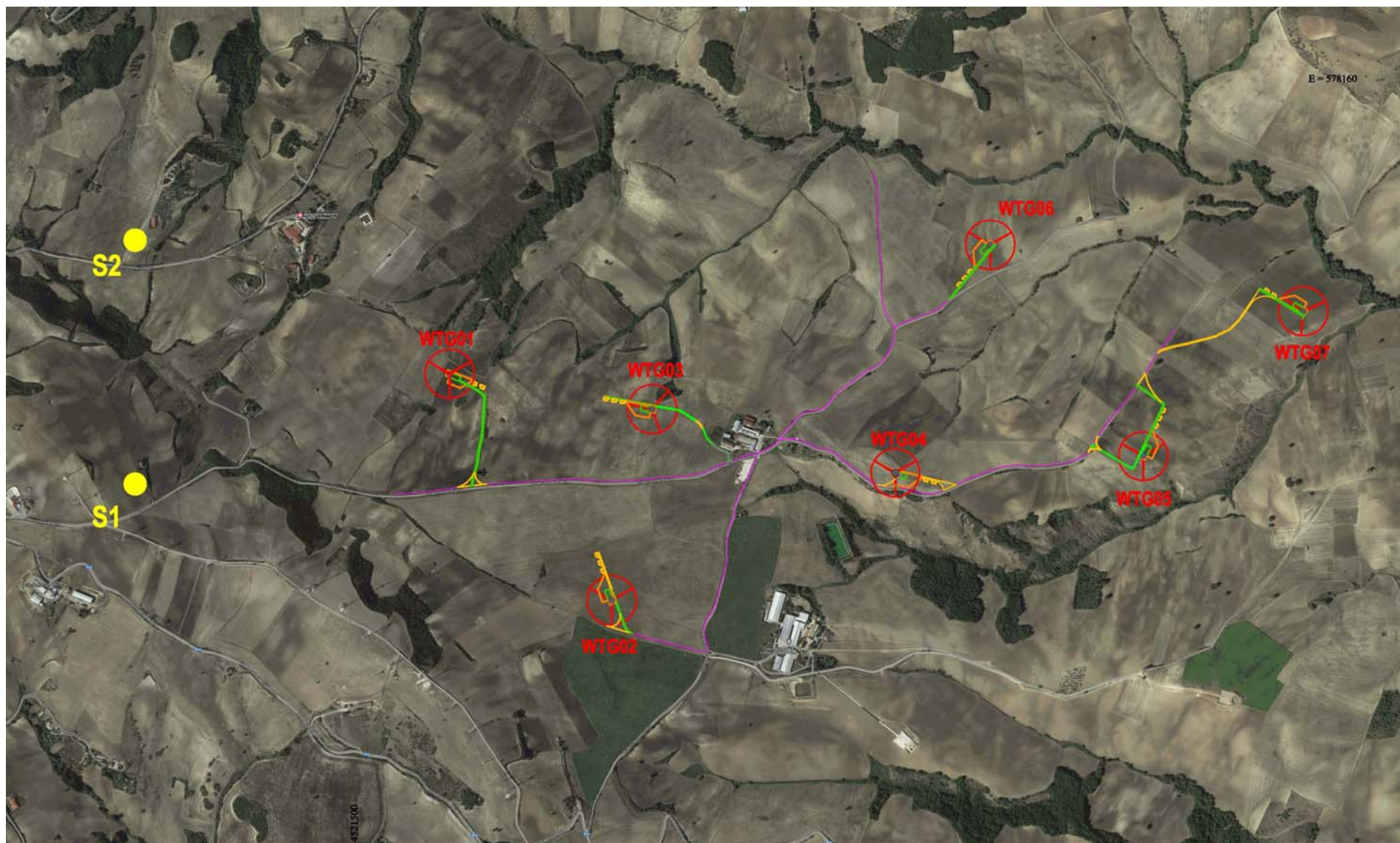


Fig. 6a: vista aerea del territorio comunale ad Est dell'abitato di Forenza con l'ubicazione dei sondaggi consultati

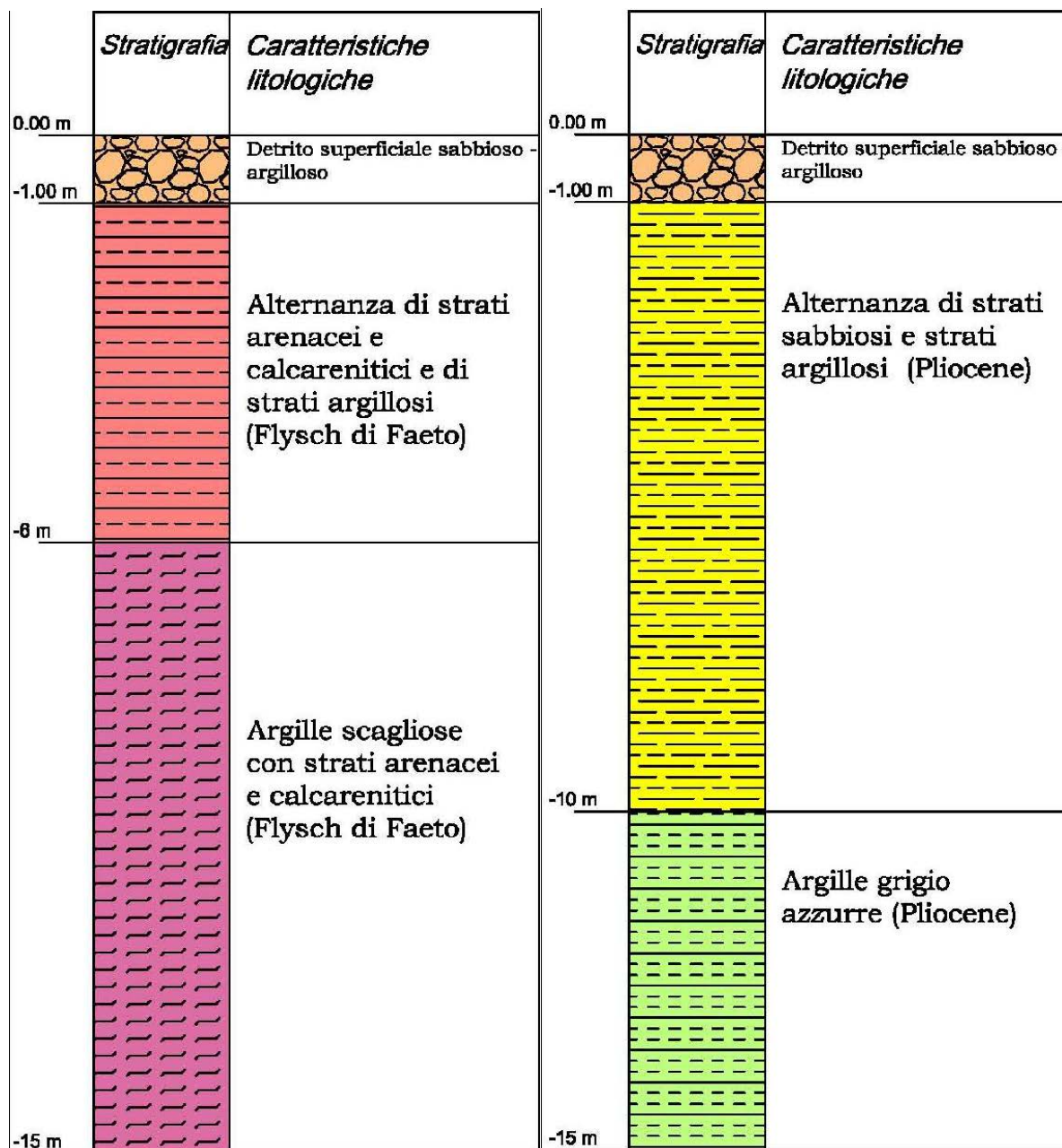


Fig. 6b: stratigrafie sondaggi consultati.

A sinistra S1 valido come schema di modello geolitologico delle aree di affioramento del Flysch di Faeto
A destra S2 valido come schema di modello geolitologico delle aree di affioramento dei depositi pliocenici

Indagine sismica

Le indagini indirette effettuate consistono in n.7 prospezioni sismiche attive tipo MASW denominata MSW01, MSW02, MSW03, MSW04, MSW05, MSW06, MSW07.

Le indagini sono state condotte utilizzando un sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop.

La prospezione sismica attiva tipo MASW ha permesso di calcolare il valore di V_{seq}/V_{s30} , così come previsto dalla recente normativa sismica [$V_{seq30} = H/S(h_i/V_{si})$ dove h_i = spessore medio in m dello strato i-esimo, V_{si} = velocità onde S in m/sec dello strato i-esimo] ed utilizzabile come parametro di riferimento per la classificazione dei terreni.

I valori della $V_{s,30}$ calcolati sono indicati nella seguente tabella (Tab.1):

Denominazione prova MASW	V_{s30} (m/sec)	Categoria suolo NTC 2018	Torre eolica
MSW01	405	B	WTG01
MSW02	380	B	WTG02
MSW03	406	B	WTG03
MSW04	571	B	WTG04
MSW05	417	B	WTG05
MSW06	488	B	WTG06
MSW07	341	C	WTG07

Tab.1 - indagini MASW eseguite

CARATTERI GEOTECNICI

In relazione ai lavori previsti per la realizzazione del Parco Eolico si dà evidenza di alcune caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dalle opere che è ragionevole desumere sia sulla base di dati bibliografici che dai campioni prelevati dei sondaggi consultati.

Si ricorda che dal sondaggio S1, di riferimento per l'interpretazione dei dati del Flysch di Faeto (torre eolica WTG02) sono stati analizzati n.2 campioni rispettivamente nel livello argilloso arenaceo e in quello argilloso scaglioso mentre nel sondaggio S2 sono stati prelevati altrettanti campioni entrambi all'interno del livello limoso.

Campioni sondaggio S1 – Flysch di Faeto

Il campione C1-S1 è classificabile in base alle analisi granulometriche come un'argilla limosa debolmente sabbiosa. La frazione argillosa del campione appartiene, in base alla carta di plasticità di Casagrande, alla classe delle argille inorganiche di media compressibilità. La prova di taglio diretto consolidata e drenata eseguita sul campione indisturbato, ha verificato le scadenti caratteristiche di resistenza. Il valore di coesione è risultato pari a 18,0 KPa mentre l'angolo d'attrito pari a 14,0°. Il valore di angolo d'attrito residuo è risultato pari a 11,1°.

Il campione C2-S1 è un'argilla con limo con una bassa percentuale di sabbia. La frazione argillosa si pone, nella carta di plasticità di Casagrande, nel campo delle argille inorganiche a media compressibilità. Con il taglio diretto consolidato drenato è stato individuato un valore di coesione pari a 34 kPa e un angolo d'attrito di 14,5°.

Campioni sondaggio S2 – Depositi argillosi plio-pleistocenici

Il campione C1-S2 è un'argilla limosa debolmente sabbiosa. La frazione argillosa è classificata, in base alla carta di plasticità di Casagrande, come argille inorganiche a media compressibilità. Il valore di coesione e di angolo di attrito ottenuti attraverso una prova di taglio diretto CD sono pari rispettivamente a 8 kPa e 15,0°.

Il campione C2-S2 è classificato come un'argilla limosa debolmente sabbiosa. La frazione argillosa del campione appartiene alla classe delle argille inorganiche di media compressibilità. La prova di taglio diretto consolidata e drenata eseguita sul campione indisturbato ha verificato le scadenti caratteristiche di resistenza: il valore di coesione è risultato pari a 19,0 KPa mentre l'angolo d'attrito pari a 18,5.

I risultati delle analisi geotecniche di laboratorio hanno evidenziato un'uniformità dei principali parametri geotecnici per ogni classe litologica.

Di seguito in Tab.2a sono sintetizzati i principali parametri fisico-meccanici.

campioni	descrizione litologica	Classe litologica di appartenenza	Wn (%)	γ_v (Kn/m ³)	γ_{sat} (Kn/m ³)	γ_s	Sr
C1 S1	Argilla limosa debolmente sabbiosa	AS - Argilla Flysch di Faeto	21.8	18.8	19.6	2.73	81
C2 S1	Argilla con limo	AS - Argilla Flysch di Faeto	14.8	19.2	20.3	2.71	68
C1 S2	Argilla limosa debolmente sabbiosa	LA - Argilla pliocenica	24.2	19.3	19.7	2.73	92
C2 S2	Argilla limosa debolmente sabbiosa	LA - Argilla pliocenica	21.9	20.0	20.2	2.73	95

campioni	classe litologica	granulometria				limiti				tg cd		
		Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	LL	LP	IP	Ic	c' KPa	σ'_1	σ'_r
C1 S1	AS	1.3	6.4	11.2	81.1	48.5	21.1	27.4	0.97	18.0	14.0	11.1
C2 S1	AS	0	4.1	30.9	65.0	40.1	18.6	21.5	1.18	34.0	14.5	
C1 S2	LA	1.6	5.4	29.0	64.0	47.0	23.8	23.2	0.98	8.0	15.0	
C2 S2	LA	1.5	3.6	37.5	57.4	44.1	21.6	22.5	0.99	19.0	18.5	

Tab2a - sintesi dei principali parametri fisico meccanici relativi al Flysch di Faeto e ai depositi argillosi pleistocenici

Caratteri geotecnici dei Conglomerati

E' noto come i terreni conglomeratici presentino delle caratteristiche geotecniche generalmente eccellenti, soprattutto se affioranti in ammassi rocciosi dalle buone condizioni geomeccaniche; nel caso in esame, infatti, tale circostanza è generalmente verificata poiché tali terreni evidenziano un buon grado di cementazione, discreta densità relativa e compressibilità pressoché nulla.

Lo stato di fessurazione e/o fratturazione non evidenzia elementi significativi sia alla microscala che alla mesoscala, l'affioramento in esame infatti, presenta uno stato generale di compattezza. Lo stato di alterazione testimonia di materiali poco o nulla degradati, si osservano lievi tracce di ossidazione ed esigui spessori di terreni residuali. I parametri fisico-meccanici dei terreni conglomeratici, com'è noto, non sono sperimentalmente determinabili se non tramite correlazioni con test geognostici in situ non sempre praticamente eseguibili, in ogni caso i raffronti con la letteratura (Cascini 1994) e con le precedenti esperienze locali consentono di estrapolare in maniera cautelativa i seguenti valori (tab.2b):

γ	γ_{sat}	ϕ	C	D _r (%)	E
1.8 t/m³	1.95 t/m³	38°	0 kg/cm²	> 80	700 kg/cm³

γ : peso di volume T/m³; γ_{sat} : peso di volume saturo; C: coesione kg/cm²; ϕ : angolo di attrito; E: modulo di deformazione kg/cm²; D_r: densità relativa (%)

Tab.2b - Schema dei principali parametri geotecnici dei conglomerati.

In ordine alla presenza di orizzonti a granulometria prevalentemente sabbiosa, generalmente sovrastanti i conglomerati, ed ai loro caratteri geotecnici, è possibile sintetizzare le risultanze delle analisi in laboratorio degli stessi riportate in letteratura. Tali materiali sono classificabili come "Sabbie limose con ghiaia" CNR-UNI A-4 IG 3; dalle caratteristiche prevalentemente granulari non consentono la determinazione dei limiti di Atterberg, evidenziano, inoltre, apprezzabile cementazione e discrete caratteristiche meccaniche.

γ	γ_d	γ_{sat}	w_n	L_l	L_p	PI	IC	C	ϕ	E	P_c	k
1.94	1.73	2.08	12.4	-----	-----	-----	-----	0.23	26°	48-91	0.62	3.61 E-5

γ : peso di volume T/m³; γ_d : peso di volume secco T/m³; γ_{sat} : peso di volume saturo; w_n : umidità naturale %; L_l : limite liquido %; L_p : limite plastico %; PI: indice di plasticità; IC: indice di consistenza; C: coesione kg/cm²; ϕ : angolo di attrito; E: modulo di deformazione kg/cm²; P_c : pressione di preconsolidazione kg/cm²; K: permeabilità

Tab.2c - Schema dei principali parametri geotecnici dell'orizzonte sabbioso sovrastante i conglomerati

Formazione di San Marco

Si tratta di sabbie color giallo-ocra a composizione granulometrica medio-fine, di natura quarzoso calcarea; il passaggio fra conglomerati e sabbie avviene con frequenti eteropie laterali e con intercalate litofacies intermedie ed è spesso obliterato da modeste quantità di materiale detritico ed eluvio-colluviale. A luoghi evidenziano laminazione piano-parallela alternata a sottili set a laminazione incrociata; presentano frequenti intercalazioni di sottili livelli di arenarie mediamente cementate alternati a livelli limosi e limoso-sabbiosi. Affiorano lungo le superfici in pendio prospicienti il sito in esame e lo spessore complessivo non è inferiore a 20.0 m ca., la giacitura è sub-orizzontale o debolmente inclinata verso NE.

Dalla consultazione dei dati presenti in letteratura provenienti dai numerosi sondaggi eseguiti su tali litotipi effettuati durante precedenti campagne di indagini consentono di sintetizzare i seguenti caratteri geotecnici:

Classif. CNR-UNI A-7-6 IG 10; l'analisi granulometrica riferisce di "Sabbie limose con argille di colore giallo ocra", la determinazione dei limiti di Atterberg consente di classificarle come "argille limose e sabbiose inorganiche di plasticità medio-bassa" della Carta di Plasticità di Casagrande o terreni di tipo "CL".

La prova di taglio diretto di tipo "CL" ha fornito valori per l'angolo di attrito e la coesione pari a $C = 0.31$ kg/cm² e $\phi = 25.0^\circ$. La prova di compressione edometrica, che consente di definire per punti discreti la riduzione dell'indice dei vuoti in regime di compressione, ha fornito valori del modulo edometrico pari a $40 < E < 65$ kg/cm² per $0.50 < \sigma < 2.00$ kg/cm² ed una pressione di preconsolidazione pari a $P_c = 1.06$ kg/cm².

Nella seguente tabella (Tab.2d) si riassumono i principali parametri fisico-meccanici della formazione descritta.

γ	γ_d	γ_{sat}	w_n	L_l	L_p	PI	IC	C	ϕ	E	P_c	k
1.87	1.61	1.95	24.0	40.2	23.1	17.1	+0.95	0.31	25°	40-65	1.06	3.61 E-5

γ : peso di volume T/m³; γ_d : peso di volume secco T/m³; γ_{sat} : peso di volume saturo; w_n : umidità naturale %;
 L_l : limite liquido %; L_p : limite plastico %; PI: indice di plasticità; IC: indice di consistenza; C: coesione kg/cm²;
 ϕ : angolo di attrito; E: modulo di deformazione kg/cm²; P_c : pressione di preconsolidazione kg/cm²; K: permeabilità

Tab.2d - Schema dei principali parametri geotecnici della Formazione di San Marco

Di seguito vengono sintetizzati i principali parametri geomeccanici per le unità geologiche coinvolte dal futuro parco eolico.

- **Unità Litotecnica 1 – Argille del Flysch di Faeto (Miocene – Pliocene):**
 - o Peso di volume (kN/mc) = 19.0
 - o Coesione eff. (KPa) = 26.0
 - o Angolo di attrito int. (°) = 15.0
- **Unità Litotecnica 2 – Argille e limo (Pliocene-Pleistocene):**
 - o Peso di volume (kN/mc) = 19.6
 - o Coesione eff. (KPa) = 13.5
 - o Angolo di attrito int. (°) = 17
- **Unità Litotecnica 3 – Formazione di San Marco (Pleistocene):**
 - o Peso di volume (kN/mc) = 18.3
 - o Coesione eff. (KPa) = 31
 - o Angolo di attrito int. (°) = 25
- **Unità Litotecnica 4 – Conglomerati (Pleistocene):**
 - o Peso di volume (kN/mc) = 19.1
 - o Coesione eff. (KPa) = 0-20
 - o Angolo di attrito int. (°) = 26-38

CARATTERI SISMICI DEL TERRITORIO

Il Territorio di Forenza è a cavallo tra la fascia Appenninica e l'Avanfossa Bradanica.

Nell'area dell'Appennino meridionale, le zone maggiormente interessate nel tempo da eventi sismici con magnitudo superiore a 5 sono quelle ubicate in corrispondenza della catena.

L'allineamento degli epicentri di questi eventi sismici è evidentemente collegato con la struttura geologica della regione, in particolare gli epicentri si concentrano prevalentemente a ridosso del confine tra la catena Appenninica e l'Avanfossa Bradanica, mentre il loro numero decresce nei settori interni della catena (prossimi al Mar Tirreno) e nel settore adriatico.

In base alla mappa della zonazione sismogenetica ZS9 di figura 7a redatta dall'INGV (2004) nell'Appennino Meridionale sono state individuate due aree:

- La prima caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata ai processi distensivi che hanno interessato l'Appennino Meridionale a partire da 0,7 Ma circa. Tali aree coincidono con il settore assiale della catena. Per queste aree il meccanismo di fagliazione più diffuso è del tipo faglia diretta (in prevalenza sistemi di faglie ad andamento NW-SE), la magnitudo degli eventi sismici non è inferiore a 5 e la profondità epicentrale è compresa tra 8-12 km. I settori occidentali dei bacini del Bradano, Basento; dell'Agri, del Sinni ed il settore orientale del bacino del Noce ricadono in questo tipo di zona sismogenetica;
- La seconda area caratterizzata dal rilascio di energia imputabile a meccanismi di fagliazione tipici delle faglie trascorrenti. La magnitudo non è inferiore a 5 e la profondità degli epicentri oscilla tra i 12 e 20 km. Queste zone sismogenetiche sono connesse a lineamenti tettonici ad andamento W-E.

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (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.

Di seguito in Figura 7b viene riportato graficamente (anni / intensità massima) l'elenco degli eventi registrati nel territorio di Forenza negli ultimi 300 anni; lo stesso elenco viene riproposto in forma tabella in Tab.3.

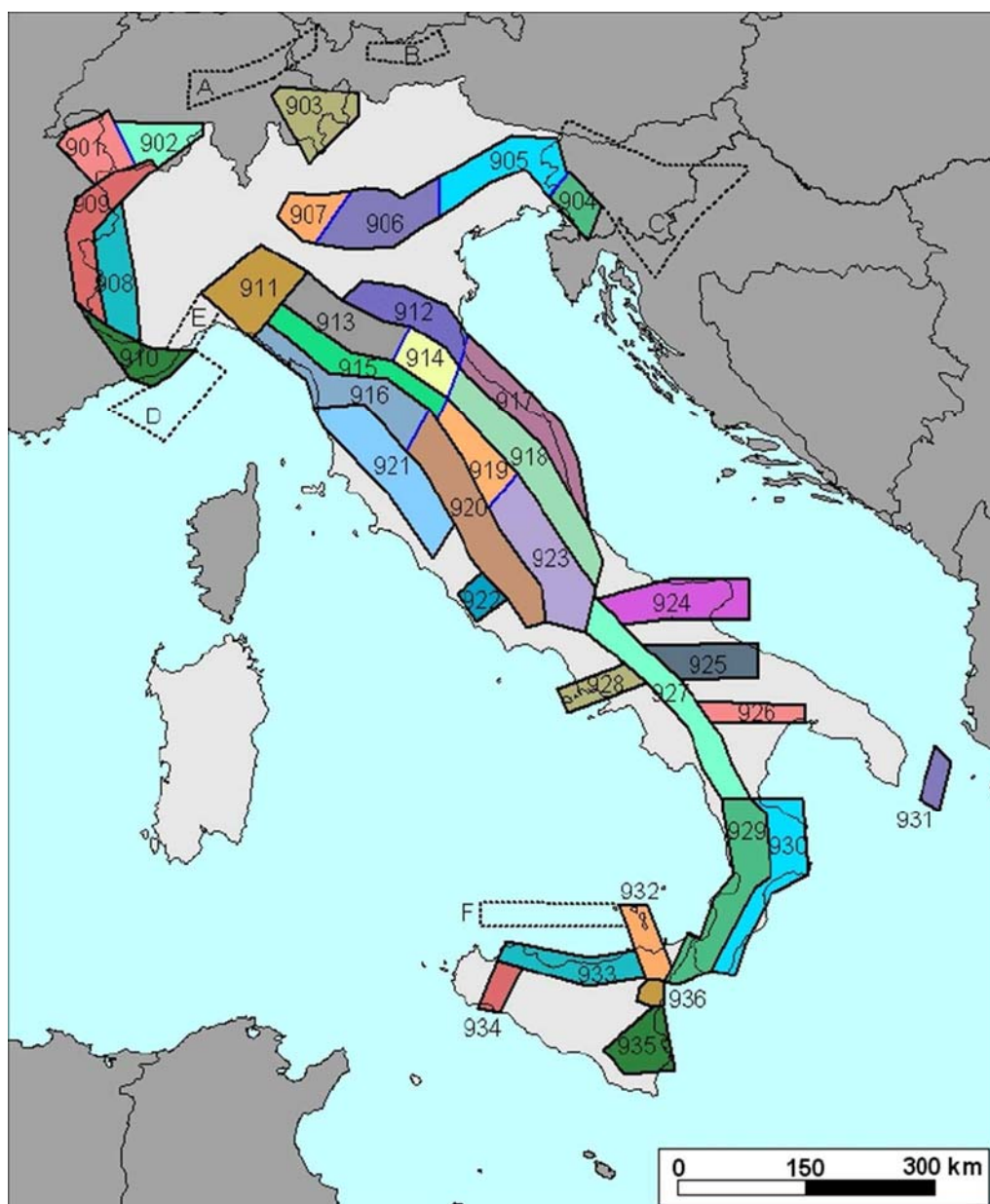


Fig.7a - Zonazione sismogenetica ZS9

(tratto da Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise (marzo 2004) con contributi di R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci)

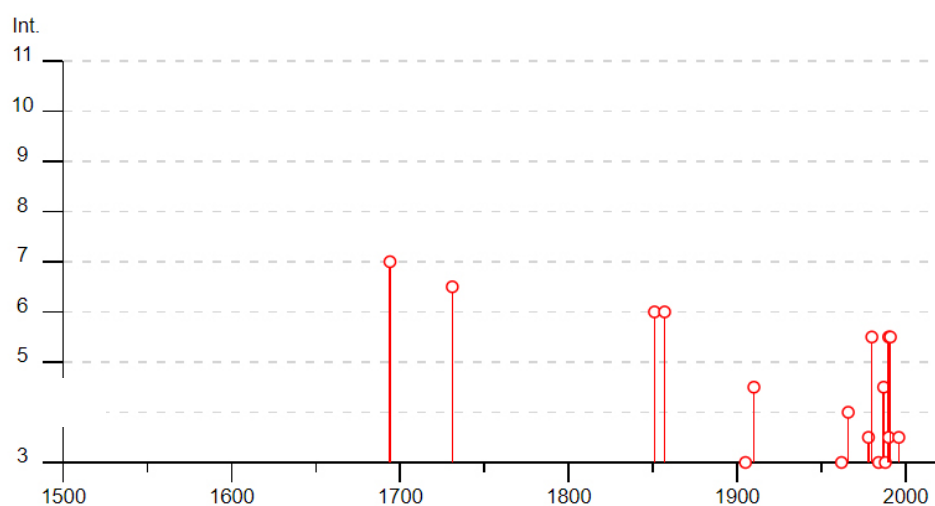


Fig.7b - elenco eventi nel territorio di Forenza (<https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/>)

Is = Intensità al sito (scala MCS); An = Tempo origine: anno ; Me = Tempo origine: mese; Gi = tempo origine: giorno;

Or = Tempo origine: ora; Mi = Tempo origine: minuti; Se = T.o. : secondi;

AE= Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io = Intensità epicentrale nella scala MCS;

Mw = Magnitudo momento.

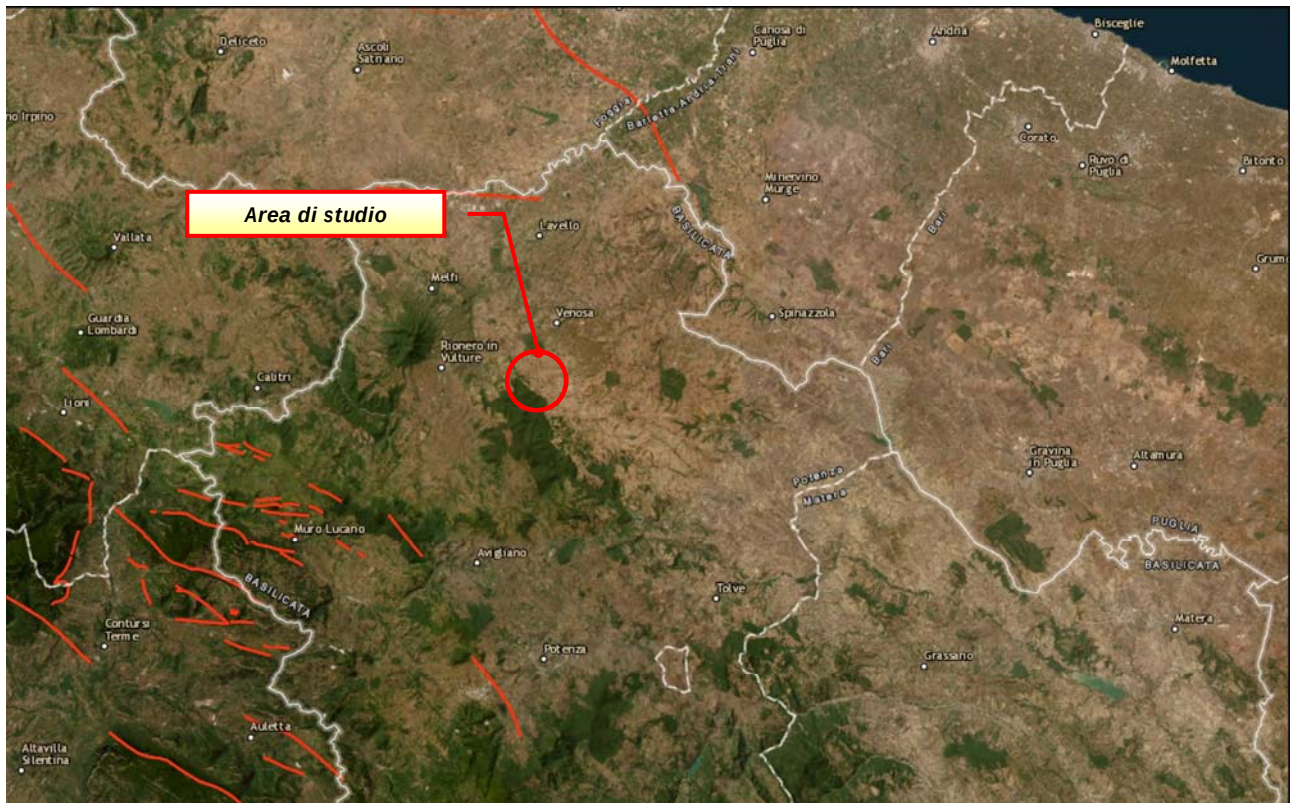
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1694 09 08 11 40	Irpinia-Basilicata	251	10	6,73
6-7	1731 03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9	6,33
6	1851 08 14 13 20	Vulture	103	10	6,52
6	1857 12 16 21 15	Basilicata	340	11	7,12
NF	1899 08 16 00 05	Subappennino dauno	32	6	4,57
NF	1905 03 14 19 16	Avellinese	94	6-7	4,9
3	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11	6,95
NF	1905 11 26	Irpinia	122	7-8	5,18
4-5	1910 06 07 02 04	Irpinia-Basilicata	376	8	5,76
NF	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
2	1930 11 06 21 56	Alta Murgia	16	5	4,41
NF	1957 05 03 03 29 34.00	Potentino	36	5	4,09
3	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6,15
NF	1963 02 13 12 45	Potentino	31	7	5,19
4	1966 07 06 04 24	Alta Murgia	46	4	4,26
3-4	1978 09 24 08 07 44.00	Materano	121	6	4,75
5-6	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
3	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	912	8	5,86
NF	1984 05 11 10 41 49.27	Monti della Meta	342	7	5,47
4-5	1987 01 28 05 33 21.76	Potentino	62	5	4,54
3	1988 04 26 00 53 43.83	Adriatico centrale	78		5,36
NF	1989 05 29 11 19 10.75	Appennino lucano	77	5	4,34
5-6	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5,77
3-4	1990 08 28 19 02 52.35	Potentino	84		4,21
5-6	1991 05 26 12 25 59.42	Potentino	597	7	5,08
3-4	1996 04 03 13 04 34.98	Irpinia	557	6	4,9
2	1998 04 07 21 36 55.30	Valle dell'Ofanto	45	5	4,31
NF	1998 04 26 05 38 05.59	Potentino	67	4-5	3,76
NF	2002 04 18 20 56 48.67	Appennino lucano	164	5	4,34
NF	2004 02 23 19 48 45.19	Appennino lucano	107	4-5	3,82
NF	2004 02 24 05 21 26.53	Appennino lucano	140	5	4,21
NF	2004 09 03 00 04 12.75	Potentino	156	5	4,41
2	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4,64

Tab.3 - storia sismica del comune di Forenza (PZ) 40.86 – 15.856 - osservazioni disponibili: 33

Nell'ottica di prevenzione del rischio sismico per gli effetti indiretti che potrebbero riattivare i fenomeni di dissesto, è stata effettuata una valutazione degli allineamenti tettonici che possono rappresentare sorgenti sismogenetiche.

In particolare si è fatto riferimento alle sorgenti sismogenetiche censite nel progetto ITHACA (*Italy Hazard from Capable faults*), che prevede un database per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche

attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.



Kinematics
 --- Unknown --- Oblique Fault --- Strike Slip
 --- Normal Fault --- Reverse Fault

Fig.8a: Faglie sismogenetiche più prossime all'abitato di Forenza, Progetto ISPRA ITHACA (tratto da <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>)

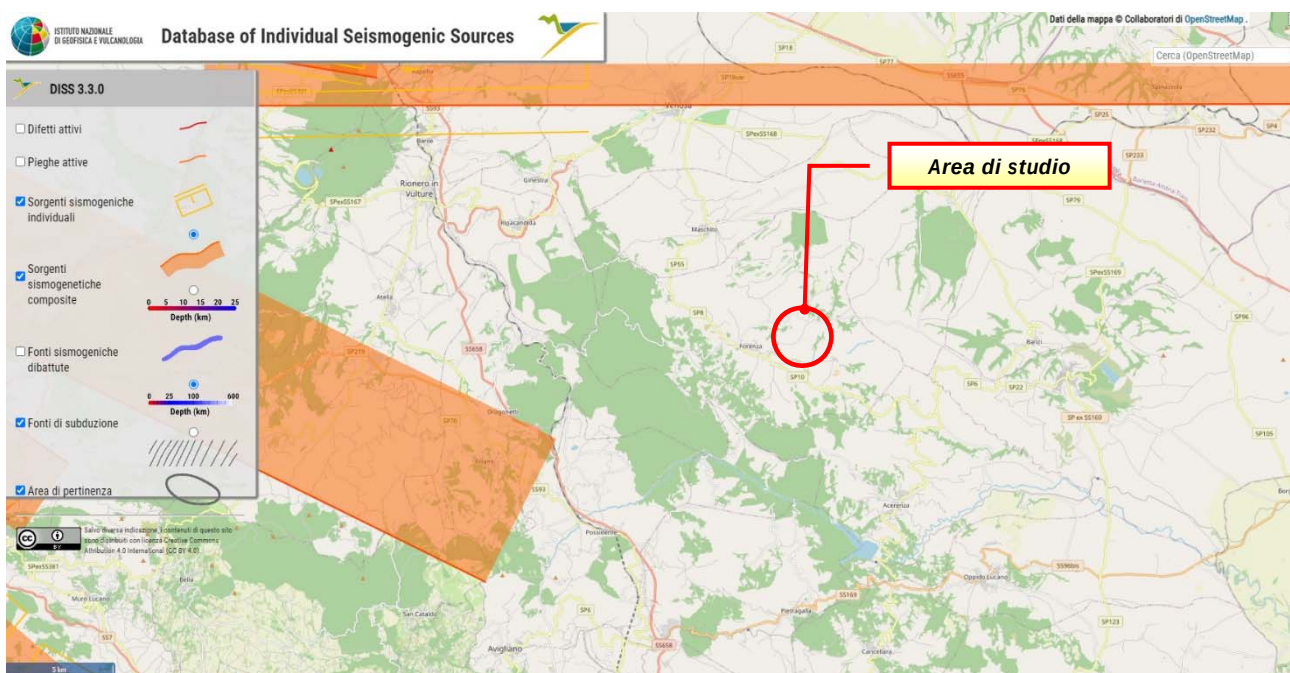


Fig. 8b: Faglie ritenute attive nel territorio settentrionale della Basilicata, da INGV Cartografia DISS 3.2.1 (tratto da <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>)

Nel caso specifico l'area di interesse si inserisce nella fascia esterna dell'Appennino ad una distanza dagli allineamenti tettonici, che risultano con meccanismo di faglie dirette, pari a 25 km (vedasi Fig. 8a e Fig. 8b).

Pericolosità sismica di base – accelerazione sismica attesa

Ai sensi della precedente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/2003, il territorio in esame era classificato come "Zona 2" ovvero "Zona con pericolosità sismica media" dove possono verificarsi terremoti relativamente forti [$a_g/g = 0,25$]; la L.R. n. 9 del 7 giugno 2011 il comune di Forenza è classificato come zona 2d (vedasi Tab. 4)

Zona sismica OPCM 3274	Nuova Zonazione Sismica	PGA subzona (g)	Magnitudo	Distanza (Km)
2	2d	0.175	5.2	5

Tab. 4: valore di a_g secondo la Nuova classificazione sismica Regione Basilicata

Tuttavia i valori di accelerazione del terreno sopracitati, sono differenti da quello ottenuto con le N.T.C. 2018, quest'ultimo valore è riferito ad una probabilità del 10% di essere superato in 50 anni (vedasi Fig. 9).

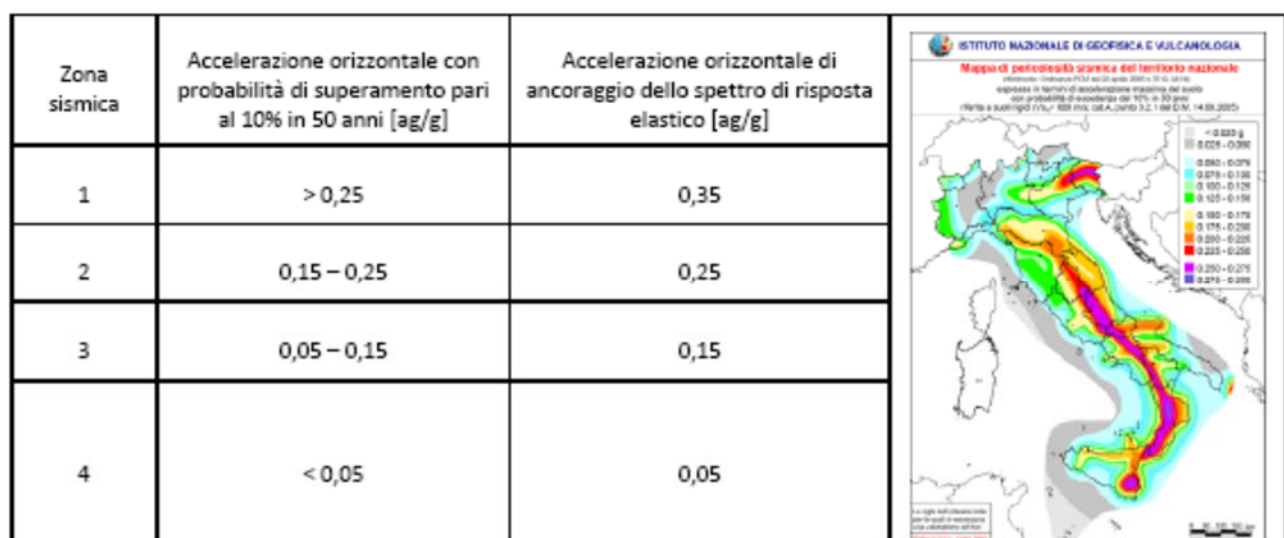


Fig. 9: Valori dell'accelerazione sismica riferiti alla Zonazione sismica del territorio nazionale ai sensi dell'O.P.C.M. n°3274/2003 e riferiti alla zonazione sismica secondo l' O.P.C.M. del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b (adottato nelle NTC 2008 ed NTC 2018).

Già con l'entrata in vigore delle N.T.C. 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) ed ora con le nuove N.T.C. 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018), la stima della pericolosità sismica del sito viene definita non più tramite un criterio "zona dipendente" ma mediante un approccio "sito dipendente".

Il valore di pericolosità di base [a_g/g] è così definito, per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali ed è espresso in termini di accelerazione orizzontale del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi orizzontali ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A) (Figura 10.a e Figura 10.b).

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> i cui punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

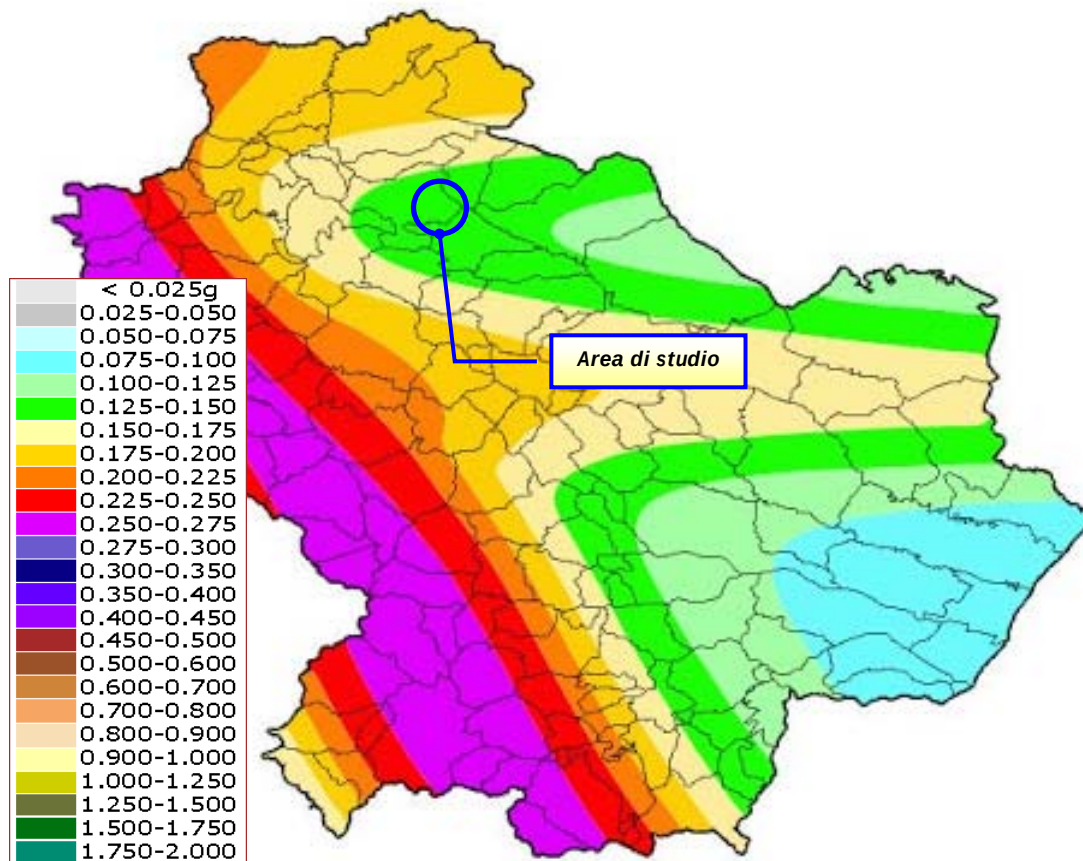


Figura 10.a: Mappa dei valori della pericolosità sismica
(tratto da <http://www.protezionecivilebasilicata.it/> e da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Pertanto per ogni opera ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area d'indagine e rimodulata in funzione della vita nominale dell'opera in progetto oltreché delle caratteristiche sismo-stratigrafiche e morfologiche del sito oggetto d'intervento.

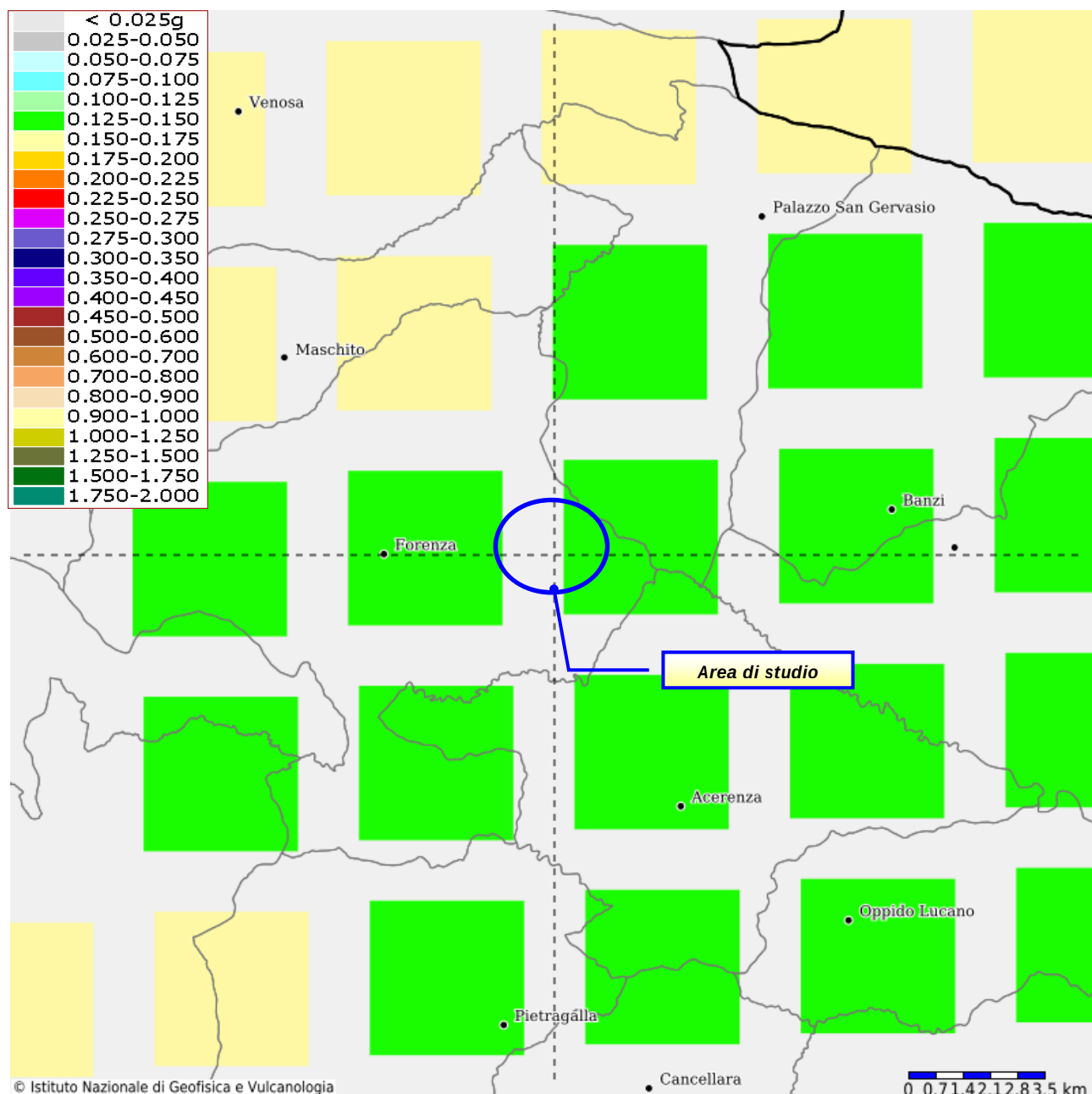


Figura 10.b: Mappa dei valori della pericolosità sismica per il sito oggetto d'intervento
[\(http://esse1-gis.mi.ingv.it/\)](http://esse1-gis.mi.ingv.it/)

Modello sismico del sito - valutazione dell'azione sismica

I parametri sismici del sito utili ai fini progettuali (accelerazione massima a_g/g e tutti i parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle N.T.C.2018) sono descritti oltre che in termini geografici anche in termini temporali ovvero 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.

Per l'area di studio al momento non è possibile determinare un'analisi del genere (sito dipendente); a scopo preliminare la stessa può essere eseguita prendendo come riferimento il punto di ubicazione dell'anemometro.

Pertanto definiti i parametri generali del sito (si veda Tabella 4.1) ed utilizzando il software Geostru PS (<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>) è possibile ricavare i valori dei parametri di pericolosità sismica del sito indagato (a_g , F_0 ,

T_C) per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun Stato Limite (si veda Tabella 4.2).

Sito in esame	Forenza – ubicazione baricentrica Parco Eolico
Latitudine e Longitudine	40.854729° – 15.905776°
Classe d'uso in presenza di	II
Vita nominale calcolata in base	50 anni
Categoria sismica sottosuolo	B
Categoria Topografica	T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni (dato dal prodotto della Vita nominale per il Coefficiente d'uso)
Coefficiente d'uso C_u	1,0

Tabella 5.1: Parametri generali sito d'intervento

Stato Limite	Prob. superamento [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,044	2,459	0,283
Danno (SLD)	63	50	0,055	2,490	0,321
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,138	2,605	0,471
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,177	2,623	0,513

Tabella 5.2: Parametri sismici del sito indagato riferiti al baricentro dell'opera in progetto

dove:

T_R = tempo di ritorno (espresso in anni)

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito (espressa in g/10)

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale)

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi)

Si rammenta che i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* determinati sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni, ovvero con presenza di substrato sismico affiorante o sub-affiorante ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$) ed in condizioni morfologiche pianeggianti.

Modello sismico del sito – definizione delle condizioni stratigrafiche e topografiche

L'azione sismica così individuata viene variata, nei modi precisati dalle Norme Tecniche (*cfr. 3.2.2 N.T.C. 2018 - definizione dell'azione sismica di progetto con approccio semplificato*), per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito d'intervento e dalla morfologia della superficie presente.

Gli effetti locali che danno origine alla risposta sismica locale sono da ricondursi alla:

- differenza di rigidità tra terreni e basamento;
- geometria del substrato che può esercitare un controllo sulla generazione e propagazione di onde superficiali;

- geologia di superficie che controlla il fenomeno di risonanza e ai fattori morfologici (irregolarità topografiche, creste e valli) che possono influenzare la propagazione superficiale delle onde sismiche dando luogo a fenomeni di amplificazione dinamica.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti (stratigrafici e topografici), rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (*sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2*).

Ai sensi del Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 recante “Norme Tecniche per le Costruzioni”, l’azione sismica di progetto, è valutata mediante la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione (§ 3.2 NTC, C3.2, § 7.11). La valutazione dell’azione sismica è stata eseguita seguendo un approccio semplificato (§3.2.2; § 7.11.3.2; § 7.11.3.3) basato sulla definizione di categorie di sottosuolo (come indicate nella Tabella 3.2.II).

L’identificazione della categoria di sottosuolo si basa principalmente sui valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio definita dall’espressione:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1...N} (h_i/V_{s,i}) \text{ (in m/s)}$$

in cui:

- h_i è lo spessore, in metri, dell’i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ è la velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato.
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

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

Dalle indagini sismiche eseguite (MSW01 ÷ MSW07) è stato ottenuto un valore della $V_{s,30}$ come mostrato in tabella seguente (Tab.6):

Denominazione prova MASW	V_{s30} (m/sec)	Categoria suolo	Torre eolica
MSW01	405	B	WTG01
MSW02	380	B	WTG 02
MSW03	406	B	WTG 03
MSW04	571	B	WTG 04
MSW05	417	B	WTG 05
MSW06	488	B	WTG 06
MSW07	341	C	WTG 07

Tab.6 - valori della V_{seq} per le indagini eseguite

Sulla base di quanto detto le categorie di suolo individuate sono:

- **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"
- **C:** "Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Le condizioni topografiche del sito, considerando la morfologia dell'area d'interesse avente una "configurazione superficiale semplice" ed in considerazione della posizione dell'opera in progetto, sono riconducibili alla "Categoria T1 – Inclinazione del pendio < 15°" (cfr Tab. 3.2 VI - N.T.C. 2018) da cui si evince che il fattore di amplificazione S_T deve essere considerato, nel caso specifico, uguale ad 1.0.

Sulla base della categoria di suolo determinata (B) e (C) e della categoria topografica del sito (T1) è possibile definire i coefficienti sismici degli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto idonee all'opera da realizzare ed alla situazione riscontrata.

Modello sismico del sito - effetti di amplificazione locale

I fattori stratigrafici e topografici che possono determinare fenomeni di amplificazione del segnale sismico, sono facilmente ricavabili dalle tabelle 3.2. IV e 3.2.VI del D.M. 17 Gennaio 2018 e C.3.2.3 della Circolare n.7/2019.

Nello specifico considerando il sottosuolo dell'area d'intervento di categoria B e quindi sviluppando i calcoli in funzione dei valori di a_g , F_0 e T^*c , i coefficienti S_s e C_c per il caso in esame sono quelli mostrati in Tab.7a e Tab.7b

Stati limite	S_s [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	β [-]
SLO	1,200	1,420	1,000	0,010	0,005	0,514	0,200
SLD	1,200	1,380	1,000	0,013	0,007	0,647	0,200
SLV	1,200	1,280	1,000	0,040	0,020	1,622	0,240
SLC	1,200	1,260	1,000	0,051	0,026	2,087	0,240

Tab. 7a: Coefficienti sismici (fondazione e stabilità del pendio) suolo categoria B

Stati limite	S_s [-]	C_c [-]	S_T [-]	K_h [-]	K_v [-]	A_{max} [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,590	1,000	0,013	0,007	0,642	0,200
SLD	1,500	1,530	1,000	0,016	0,008	0,808	0,200
SLV	1,480	1,350	1,000	0,049	0,024	2,001	0,240
SLC	1,420	1,310	1,000	0,060	0,030	2,469	0,240

Tab. 7b: Coefficienti sismici (fondazione e stabilità del pendio) suolo categoria C

dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (si veda Tab. 3.2.IV – NTC 2018)

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (si veda Tab. 3.2.IV – NTC 2018)

S_T = coefficiente di amplificazione topografica (si veda Tab. 3.2.V – NTC 2018)

K_h = coefficiente sismico orizzontale [$K_h = \beta_s * (a_{max} / g)$]

K_v = coefficiente sismico verticale [$K_v = \pm 0.5 * K_h$]

A_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

NOTE CONCLUSIVE

Sulla base del quadro geologico offerto, e sin qui esposto, si ritiene che le opere in progetto siano pienamente compatibili con il quadro geomorfologico e geologico tecnico preliminare che caratterizza i luoghi esaminati.

Si rendono tuttavia necessarie indagini geognostiche finalizzate ad una precisa ed esaustiva analisi di tutti gli elementi funzionali ad una progettazione pienamente rispondente alle norme tecniche vigenti.

In tale logica si suggerisce di realizzare:

- a) Perforazione a carotaggio continuo spinta sino alla profondità non inferiore ai 30 m dal p.c., in corrispondenza di ciascun aerogeneratore, con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove SPT; qualora fosse rinvenuta la falda durante le perforazioni, sarebbe opportuno attrezzare il foro a piezometro.
- b) Indagini geofisiche di tipo sismico (down-hole) in ogni foro di sondaggio fori attrezzati, per indagine sismica;
- c) Esecuzione presso qualificato laboratorio geotecnico di un adeguato numero di prove e indagini volte alla definizione dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione presso ciascun aerogeneratore

Lo studio della compatibilità delle aree preposte per la realizzazione del parco eolico in agro del Comune di Forenza tiene principalmente conto del fatto che il territorio comunale é ascritto tra le località sismiche di seconda categoria che é caratterizzato da un'alta sismicità, per cui l'effetto di un'eventuale crisi sismica sui manufatti resterebbero condizionati e dalle situazioni tettoniche e dalla natura litologica dei terreni, e dalla presenza d'eventuali falde idriche.

Considerate le risultanze dell'indagine e le finalità del presente studio geologico, teso a valutare le problematiche e le implicazioni geologiche connesse con le previsioni realizzative previste, è possibile affermare la piena compatibilità dell'opera con il quadro geomorfologico e geologico locale.

In particolare, alla luce di quanto illustrato nei capitoli precedenti a cui si rimanda per ogni utile approfondimento, è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- In relazione agli aspetti geomorfologici relativi a possibili dissesti superficiali e profondi, non si evidenziano situazioni che possano modificare l'attuale stato di equilibrio dei luoghi ed è possibile affermare che l'area si presenta globalmente stabile;
- Dal punto di vista idrogeologico non sussistono fenomeni e processi morfoevolutivi di tipo erosivo in atto né potenziali.
- In relazione alle scelte costruttive si ritiene idonea la scelta di utilizzare fondazioni profonde al fine di trasmettere i carichi in profondità a strati dotati di adeguate caratteristiche di resistenza;

- Ai fini sismici si tenga conto nei calcoli di verifica che l'area rientra in Zona 2d (L.R. n.9/2011) caratterizzata da un'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (a_g) pari a 0,175g (dove g = accelerazione di gravità) e che il suolo è classificabile quale Categoria B e C;
- Benché ovvio, si abbia cura di eseguire i lavori di fondazione subito dopo i lavori di scavo al fine di evitare il deterioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione;
- Si realizzi un efficace drenaggio superficiale al fine di allontanare dai terreni di fondazione le acque di precipitazione meteorica sia in fase di cantiere che in fase d'esercizio;
- La prevista espansione conoscitiva consentirà di parametrizzare puntualmente le caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sulle quali basare le successive fasi progettuali. Infine per ciò che concerne gli aspetti legati alle scelte progettuali previste per le strutture fondazionali (di tipo profondo, costituite da un macroplinto su pali) esse non pongono alcun problema di ordine geologico e tecnico e non incidono negativamente sugli equilibri idrogeologici dei luoghi, non determinando alcuna apprezzabile turbativa degli assetti geomorfologici, idrogeologici o geotecnici dell'area né pongono alcun problema di ordine geologico e tecnico alla realizzabilità delle opere.

Come ovvio in fase di progettazione esecutiva, saranno verificate le caratteristiche geostrutturali locali attraverso una puntuale campagna di indagini geognostiche che completerà il quadro geologico-tecnico conoscitivo.

Sulla base di quest'ultimo saranno analizzati compiutamente gli effetti di tali opere sulla stabilità dell'area interessata da ogni intervento attraverso la redazione di uno studio di compatibilità geologica e geotecnica che, unitamente agli altri elaborati progettuali.

I lavori di scavo dovranno avvenire in presenza del geologo estensore della presente al fine di verificare, in fase esecutiva, la validità delle scelte adottate.

Questo studio ha messo in risalto le caratteristiche tecniche dei terreni e le problematiche geologiche, rinviando di eseguire, in caso di necessità, ulteriori indagini durante i lavori.

Sulla base di tali considerazioni, si può pertanto concludere che non esistono preclusioni di ordine geologico-tecnico alla realizzazione delle opere in progetto.

IL GEOLOGO

Giuseppe Amorosi

