



Regione Emilia - Romagna
Provincia di Forlì - Cesena
Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina



Impianto Eolico denominato "Monte Comero" ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)

Titolo:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Numero documento:

Commessa

2 2 4 3 0 9

Fase

D

Tipo doc.

R

Prog. doc.

0 4 0 5

Rev.

0 0

Proponente:

FRI-EL

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

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.

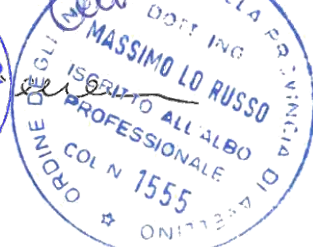
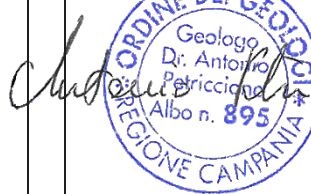
Via Serra 6 83031 Ariano Irpino (AV)
Tel. +39 0825 891313
www.progettoenergia.biz - info@progettoenergia.biz



SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
INTEGRATED ENGINEERING SERVICES

Geologo:
Dott. Antonio Petriccione

Progettista:
Ing. Massimo Lo Russo





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

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
	00	07.12.2022	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	A. PETRICCIONE	A. PETRICCIONE	A. PETRICCIONE

INDICE

1	SCOPO.....	4
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
2.1	UBICAZIONE DEL PROGETTO.....	4
2.2	DATI GENERALI D'IMPIANTO	6
2.3	ARTICOLAZIONE DEL LAVORO	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	7
3.1	GEOLOGICO E STRUTTURALE.....	7
3.2	GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO	10
3.3	GEOMORFOLOGICO.....	12
3.4	IDROGEOLOGICO	20
3.5	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA.....	20
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	21
4.1	DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI DA ESEGUIRE	21
4.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH.....	21
4.2.1	GENERALITA'	21
4.2.2	CARATTERISTICHE	23
4.2.3	INTERPRETAZIONE	23
4.3	INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES).....	25
4.3.1	ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI	27
4.3.2	STRUMENTAZIONE ADOPERATA.....	28
4.3.3	DISPOSIZIONI E CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO	29
5	MODELLAZIONE SISMICA.....	29
5.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	29
5.2	RISULTATI INDAGINI SISMICHE MASW	33
5.3	ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE	35
5.4	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	36
6	MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA.....	36
6.1	INDAGINI GEOTECNICHE	36
6.1.1	INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DPSH 01- DPSH 02	37
6.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI	41
6.3	STABILITÀ DELL'AREA.....	42
6.4	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	42
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	44

	<p style="text-align: center;"> RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA Impianto Eolico denominato "Monte Comero" ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC) </p>	
Codifica Elaborato: 224309_D_R_0405 Rev. 00		

ALLEGATI:

- Stralcio Corografia di inquadramento con ubicazione del parco eolico e delle opere connesse Scala 1:25.000
- Stralcio Carta Geologica d'Italia 1:50.000 Foglio 266 Mercato Saraceno (Scala di stampa 1:15.000)
- Stralcio Carta Geologica GeoPortale Regione Emilia Romagna Scala 1:10.000 (Tav. 3a - Tav. 3b)
- Stralcio Carta Interferenza con il PSAI dell' Autorità Di Bacino Emilia Romagna
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche Scala 1:15.000
- Certificati prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH
- Elaborati indagini sismiche Masw eseguite

1 SCOPO

Scopo del presente documento è la redazione dello studio geologico e geotecnico finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione e all'esercizio dell'impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica, denominato "Monte Comero", costituito da n° 6 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 30 MW, nel comune di Verghereto (FC), e relative opere di connessione ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC), collegato alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. Quarto di Sarsina) con uno stallo a 132 kV, ubicata nel comune di Sarsina.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

2.1 UBICAZIONE DEL PROGETTO

L'Impianto Eolico, costituito da n° 6 aerogeneratori, ricade nel comune di Verghereto (FC), mentre il cavidotto M.T. attraversa i comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC), ove è ubicata la Stazione Elettrica di Utenza.

Si riporta, in figura 1, lo stralcio della corografia dell'area di impianto e si rimanda all'elaborato cartografico "224309_D_D_0220 Corografia di inquadramento", dove viene riportato l'intero progetto.

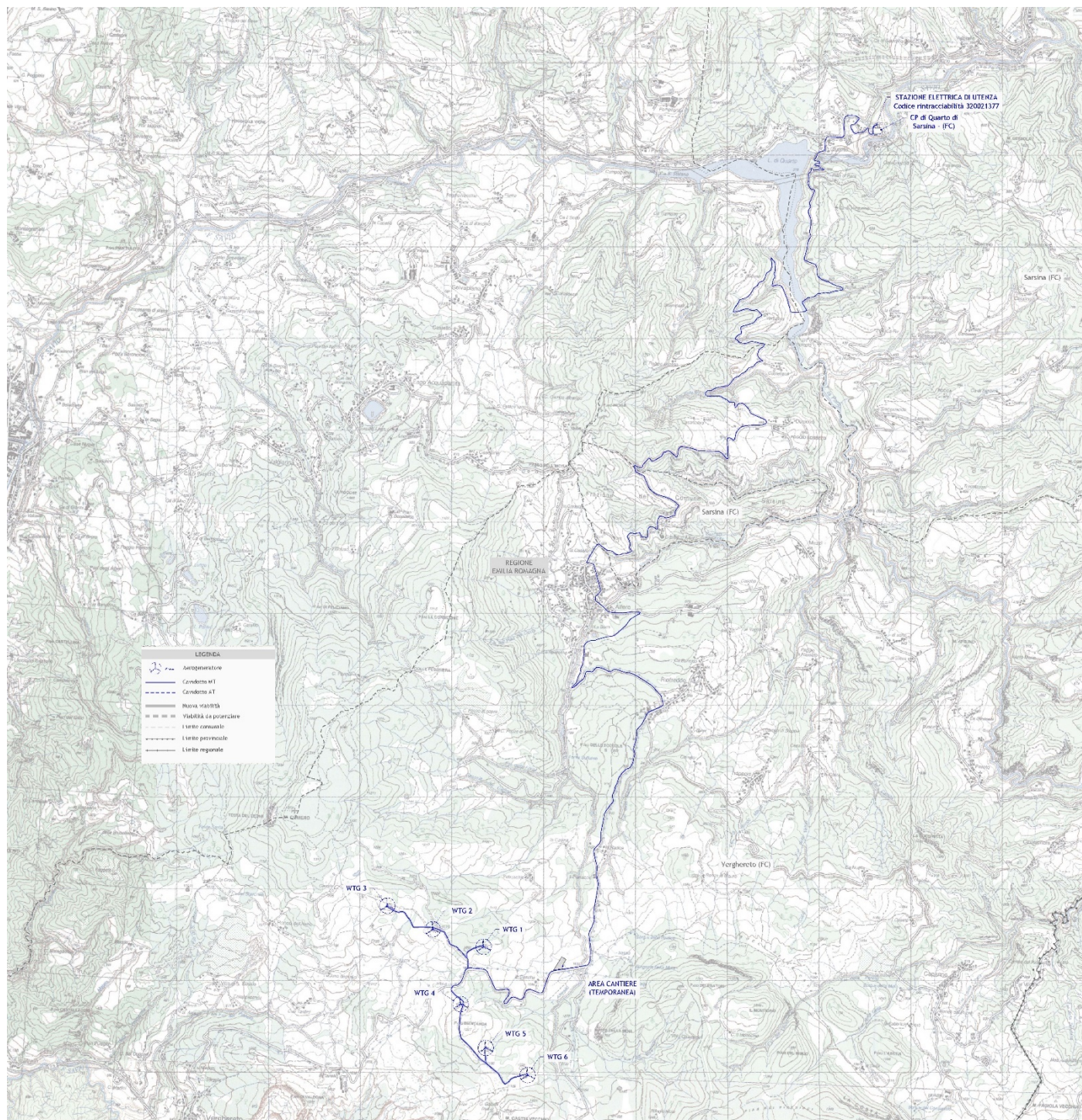


Figura 1 Stralcio corografia d'inquadrimento, fuori scala

Si riportano di seguito le coordinate in formato UTM (WGS84), con i fogli e le particelle in cui ricade la fondazione degli aerogeneratori:

AEROGENERATORE	COORDINATE AEROGENERATORE UTM (WGS84) - FUSO 33		Identificativo catastale		
	Long. E [m]	Lat. N [m]	Comune	Foglio	Particella
WTG 01	262.276,0	4.855.173,0	Verghereto (FC)	43	19
WTG 02	261.721,0	4.855.363,0	Verghereto (FC)	33	134
WTG 03	261.225,0	4.855.621,0	Verghereto (FC)	42	325
WTG 04	262.024,0	4.854.547,0	Verghereto (FC)	53	91
WTG 05	262.299,0	4.854.070,0	Verghereto (FC)	43	66
WTG 06	262.756,0	4.853.773,0	Verghereto (FC)	54	80

2.2 DATI GENERALI D'IMPIANTO

Nello specifico, il progetto prevede:

- n° 6 aerogeneratori con potenza di 5,0 MW, tipo tripala, con diametro massimo pari a 170 m ed altezza complessiva massima pari a 200 m;
- viabilità di accesso, con carreggiata di larghezza pari a 5 m;
- n° 6 piazzole di costruzione, necessarie per accogliere temporaneamente sia i componenti delle macchine che i mezzi necessari al sollevamento dei vari elementi, di dimensioni di circa 40x70 m. Tali piazzole, a valle del montaggio dell'aerogeneratore, vengono ridotte ad una superficie di 1.500 m², in aderenza alla fondazione, necessarie per le operazioni di manutenzione dell'impianto;
- una rete di elettrodotto interrato a 30 kV di collegamento interno fra gli aerogeneratori;
- una rete di elettrodotto interrato costituito da dorsali a 30 kV di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione Elettrica di Utenza 132/30 kV;
- una Stazione Elettrica di Utenza 132/30 kV completa delle relative apparecchiature ausiliarie (quadri, sistemi di controllo e protezione, trasformatore ausiliario);
- impianto di utenza per la connessione;
- impianto di rete per la connessione.

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nel Foglio n. 108 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, nel Foglio 266 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 e nei quadranti 108 – III – NO (Verghereto) – 108 – IV – SO (Bagno di Romagna) e 108 – IV – SE (Sapigno) della carta IGM in scala 1:25.000

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di bacino dell'Emilia Romagna.

2.3 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

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

1. Rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie integrato dalla lettura delle carte geologiche d'Italia Fogli n. 108 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e 266 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

2. Consultazione della Carta Geologica dell'Emilia Romagna in scala 1:10.000
3. Analisi della cartografia a corredo del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (carta degli scenari di rischio)
4. Reperimento indagini geognostiche eseguite nelle immediate vicinanze di quella in studio e raccolta di dati bibliografici
5. Esecuzione di una campagna di indagini geognostiche consistenti in:
 - N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH
 - N. 2 indagini sismiche di superficie di tipo M.A.S.W.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

3.1 GEOLOGICO E STRUTTURALE

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

In particolare l'area in esame è ubicata all'interno del foglio geologico 266 della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 denominato "Mercato Saraceno".

Il Foglio 266 "Mercato Saraceno" ricade nel settore centrale del versante padano-adriatico dell'Appennino Settentrionale ed è compreso nelle province di Forlì Cesena (Emilia Romagna) e Pesaro Urbino (Marche) e, in minima parte, nella provincia di Arezzo (Toscana).

Il Foglio 266-Mercato Saraceno è rappresentativo della parte esterna della catena dell'Appennino Settentrionale: in quest'area si riconoscono due principali insiemi strutturali, rappresentativi di successioni appartenenti a domini paleogeografici distinti, ossia:

- *l'insieme della "Successione pre-evaporitica umbro-marchigiano- romagnola" e della "Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico" in posizione sostanzialmente autoctona, depostesi in un intervallo di tempo esteso, rispettivamente, dal Burdigaliano superiore al Messiniano inferiore e dal Messiniano superiore al Pliocene;*
- *la "Coltre della Val Marecchia" in posizione alloctona, costituita da una successione cretacico-terziaria intensamente deformata (Unità Liguri) e da una sovrastante successione eocenico-miocenica-?pliocenica p.p. meno deformata (Successione epiligure).*

Sulla base dei rapporti con la Coltre della Val Marecchia, l'insieme autoctono (Successione pre-evaporitica umbro-marchigiano-romagnola e Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico) può essere suddiviso in:

- *una successione "paleoautoctona" rappresentata da unità litostratigrafiche deposte precedentemente alla strutturazione della Coltre della Val Marecchia*
- *una successione costituita da unità litostratigrafiche deposte al di sopra della Coltre della Val Marecchia, la quale è ulteriormente suddivisibile in una parte interna "paraautoctona", depostasi negli stadi finali della messa in posto della coltre alloctona e che quindi ha subito traslazioni rispetto alla successione paleoautoctona, e una successione "neoautoctona" più esterna, solo blandamente deformata.*

Le unità della coltre della Val Marecchia possono essere suddivise in unità che hanno subito importanti traslazioni ("alloctono", cioè le unità Liguridi s.s.) e quelle deposte sulle unità alloctone mentre queste si andavano deformando ("semialloctono", cioè la successione Epiligure s.s.).

La successione paleoautoctona è costituita da formazioni sottostanti la coltre alloctona, di età compresa tra il Burdigaliano sup. ed il Pliocene inferiore (Zona a Globorotalia punctulata). La successione neoautoctona (post-coltre) è invece formata da depositi del Pliocene inferiore-medio (Zona a G. pCARGuncticulata e Zona a G. aemiliana).

La parte più interna della Successione pre-evaporitica umbro-marchigiano-romagnola, costituita dalla Formazione Marnoso-Arenacea burdigaliano-serravalliana, corrispondente allo stadio più interno dell'avanfossa romagnola ("Inner stage" di RICCI LUCCHI, 1975, 1981), è scollata dal suo substrato e considerata da alcuni autori (TEN HAAF & VAN WAMEL, 1979; VAN WAMEL & ZWART, 1990; DE FEYTER et alii, 1986; DE FEYTER, 1991) come un'unità sovrascorsa sulla Formazione Marnoso-Arenacea di età tortoniano-messiniana, corrispondente al riempimento dell'avanfossa tardo-miocenica o esterna ("Outer stage" di RICCI LUCCHI, 1976, 1981).

Il complesso alloctono comprende le formazioni liguri di età compresa tra il Cretacico e l'Eocene medio, tipicamente costituite da sedimenti bacinali profondi con elementi di rocce derivate da crosta e mantello oceanico, provenienti dai settori più interni dell'orogene, mentre il complesso semialloctono è costituito da termini formazionali di età compresa tra l'Eocene medio-superiore ed il Messiniano superiore – Pliocene basale, che poggiano in discordanza angolare sulle formazioni liguri.

Il complesso alloctono della Coltre della Val Marecchia costituisce un lembo "isolato" di formazioni derivate dal Dominio Ligure, delimitato a nord ed a sud da successioni autoctone. Come già accennato, sono oggetto di dibattito le modalità di messa in posto della Coltre della Val Marecchia ed i suoi rapporti sia con le Unità Liguri dell'Appennino Settentrionale, sia con i depositi della Successione umbro-marchigiano-romagnola.

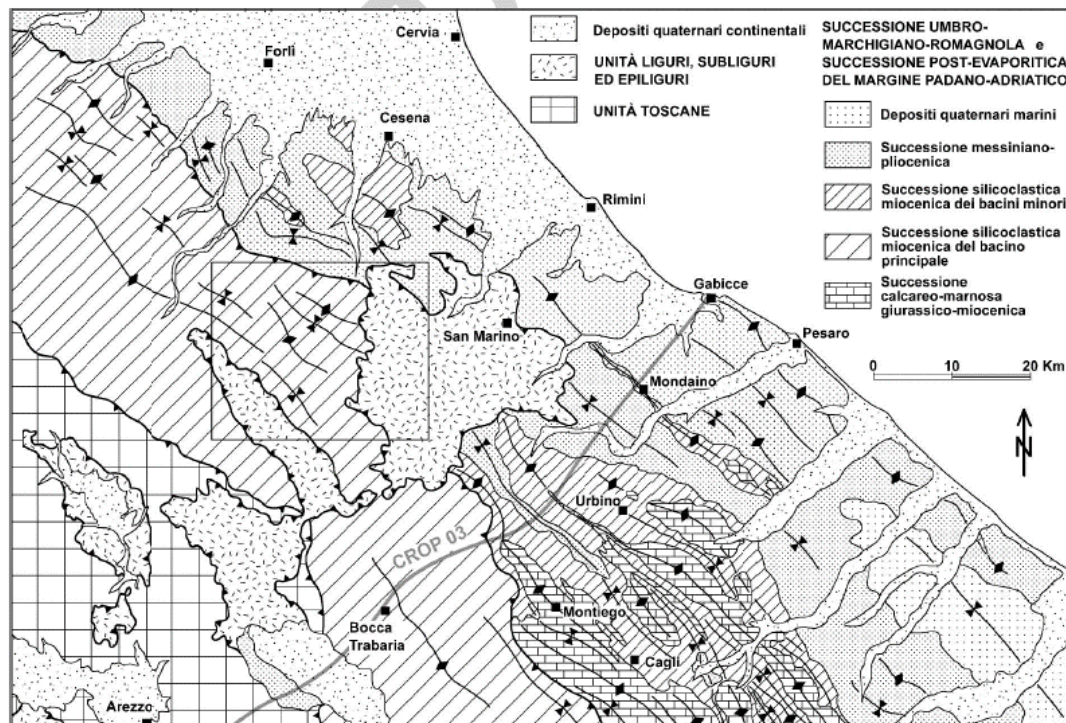


Figura 2 – Schema tettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo. Il rettangolo indica l'ubicazione del Foglio 266 – Mercato Saraceno.

L'area in esame appartiene alle unità Liguri, Subliguri ed Epiliguri

Alla luce di quanto esposto le unità geologiche presenti nel Foglio possono essere raggruppate in cinque grandi insiemi:

- - *Successione pre-evaporitica umbro-marchigiano-romagnola*
- - *Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico*

- - *Unità Liguri*
- - *Successione Epiligure*
- - *Depositi continentali quaternari.*

In particolare le aree di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori appartengono alle unità Liguri, mentre le opere connesse e le infrastrutture indispensabili appartengono ai depositi quaternari e

alle unità epiliguri e alla successione pre-evaporitiche umbro-marchigiano-romagnola e alla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico.

La Successione pre-evaporitica umbro-marchigiano-romagnola è costituita prevalentemente dalle torbiditi di avanfossa della Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (Burdigaliano superiore-Messiniano inferiore), che passano al tetto a depositi prevalentemente pelitici, marne di età prevalentemente tortoniana nella parte più interna (Marne di S. Paolo o Marne di Verghereto p.p. *Auctt.*), di età messiniana inferiore verso il margine appenninico (Formazione dei Ghioli di letto) ed a depositi fini di ambiente anossico (Tripoli e marne tripolacee) del Messiniano inferiore.

La Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico ha inizio nel Messiniano superiore con la deposizione della Formazione di tetto, costituita prevalentemente da depositi risedimentati, derivanti dallo smantellamento gravitativo delle evaporiti messiniane (in ROVERI et alii, 2006 cum bibl.), la quale evolve poi nei depositi di transizione e di lago-mare della Formazione a Colombacci, costituita da argille e argille marnoso-siltose grigie e grigio-scure con intercalati strati carbonatici biancastri sottili e medi in cui in continuità stratigrafica sulla Formazione a Colombacci si trovano delle marne biancastre ricchissime in fossili, caratterizzate dalla presenza di Sphaeroidinellopsis (Marne di Cella, CEA), e successivamente le argille e marne della formazione delle Argille Azzurre (FAA).

Le Unità Liguri e la Successione Epiligure, formano le falde alloctone, già note in letteratura come "Coltre (o colata) della val Marecchia" e "colata di S. Piero in Bagno" (RUGGIERI, 1958), e ricoprono la Successione umbro-marchigiano-romagnola e la porzione inferiore della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. Esse affiorano estesamente nel quadrante sud-occidentale, nella sinclinale di S. Piero in Bagno (colata di S. Piero in Bagno), e nella parte orientale del foglio (Coltre alloctona della Val Marecchia).

I terreni ad affinità ligure sono riferibili all'Unità tettonica Morello. Si tratta in prevalenza di argilliti policrome foliate, di età cretacico-paleogenica, riferibili alle Argille Varicolori, o alla Formazione di Villa a Radda Auctt., di peliti grigie e varicolori con torbiditi marnoso-calcaree riferibili alla Formazione di Sillano del Cretacico superiore-Eocene inferiore, e di torbiditi calcareo-marnose dell'Eocene inferiore-medio riferibili alla Formazione di Monte Morello.

Infine, sono presenti i depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene, che sormontano tramite una forte troncatura erosiva, tutti i termini sottostanti.

3.2 GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO

Dalla disamina della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio 266 (Mercato Saraceno) e dal rilevamento geologico eseguito in fase di sopralluogo, si evince che l'intero parco eolico e le relative opere connesse attraversano una serie di formazioni geologiche delle quali di seguito si descrivono le caratteristiche principali e a quali elementi del parco corrispondono:

Carta Geologica d'Italia 1:50.000 – Foglio 266 (Mercato Saraceno)

(SIL) – (Cretacio Inf. – Eocene Medio) – Formazione di Sillano – (Porzione di cavidotto – Aerogeneratori WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05).

La Formazione di Sillano è caratterizzata, nell'area in oggetto, da un'alternanza di strati di spessore da decimetrico a metrico di peliti grigie e calcari grigio-verdastri. Le peliti possono talvolta essere policrome, specialmente nella parte basale della formazione dove diventano predominanti rispetto ai calcari. Localmente sono presenti marne calcaree rosate. La porzione carbonatica è rappresentata da calcareniti torbiditiche a grana fine, calcilutiti in strati da medi a spessi e calcari marnosi con colori che vanno dal grigio al verdastro, ma che spesso possono assumere colore nocciola chiaro.

(a1q) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di frana senza indizi di evoluzione – (Porzione di cavidotto – Aerogeneratore WTG 03 – WTG 06).

Trattasi di depositi incoerenti a composizione eterogenea e granulometria eterometrica, con assetto caotico costituiti essenzialmente da litotipi stratificati, costituiti da alternanze di livelli litoidi con livelli pelitici o marnosi.

(Porzione di cavidotto)

(a1) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di frana in evoluzione

Trattasi di depositi incoerenti a composizione eterogenea e granulometria eterometrica, con assetto caotico costituiti essenzialmente da litotipi stratificati, costituiti da alternanze di livelli litoidi con livelli pelitici o marnosi.

(a) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di versante

I depositi di versante (a) sono costituiti da materiale incoerente, eterogeneo ed eterometrico, costituiti da depositi angolosi e sub-angolosi e possono presentare clasti immersi in matrice (generalmente sabbioso-limosa) o a diretto contatto tra loro.

(AVR) – (Cretacico inferiore – Eocene medio) – Argille varicolori

Le argille varicolori sono costituite da argilliti policrome, variabili da un colore rosso, a verde, a grigio scuro, talora ocreo con intercalazioni di livelli discontinui di calcareniti, calcilutiti biancastre e grigie o verdastre, areniti fini brune, siltiti di colore marrone scuro-rossastro e marne grigio-avana.

(COOc) – (Eocene medio-superiore) – Formazione di Monte Comero – Litofacies arenaceo-calcareo-marnosa

Arenarie quarzoso-feldspatiche gradate, conglomeratiche alla base e talora sino a metà strato; strati da molto spessi a medi e sottili; il colore è grigio-beige, giallastro se alterate, con alla base strati arenacei e calcareo-marnosi biancastri o gialli in spessori da medi a sottili.

(MVS) – (Eocene medio-superiore) – Complesso della Valle del Savio

Argilliti, talora marnose, grigie e varicolorate, foliate, litologicamente assai simili alle Argille Varicolori liguri e da brecce a matrice argillosa varicolorata inglobante inclusi litologicamente eterogenei (calcareniti, calcilutiti, siltiti, diaspri, marne e arenarie).

(FMA9) – (Miocene) – Formazione Marnoso-Arenacea – Membro della Civitella

Tale Formazione è costituita da ripetute sequenze torbiditiche di strati bipartiti arenaria-pelite, con intercalazioni di emipelagiti marnose. Essa rappresenta il riempimento dell'avanfossa miocenica del Dominio umbro-marchigiano-romagnolo.

È costituito da torbiditi pelitico-arenacee e rare emipelagiti con rapporto arenaria/pelite generalmente compreso tra 1/2 e 1/5 in cui si intercalano intervalli sia più pelitici, sia più arenacei.

(AES) – (Olocene) – Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore – Unità di Modena

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale con depositi fluviali in evoluzione.

(Porzione di cavidotto – S.E. di Utenza – C.P. di Quarto di Sarsina)**(AES) – (Olocene) – Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore – Unità di Modena**

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale con depositi fluviali in evoluzione.

Di seguito si riporta lo stralcio della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 con ubicazione del parco eolico in esame.



Figura 3 – Stralcio Carta Geologica d'Italia Foglio 266 Mercato Saraceno con ubicazione del parco eolico in esame – fuori scala

Infine, dalla consultazione della carta geologica in scala 1:10.000 redatta dalla regione Emilia – Romagna è emerso che:

- **gli aerogeneratori WTG 01 – 02 – 03 – 04 e 05** sono ubicati su depositi argillosi intensamente tettonizzati, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione.
- **L'aerogeneratore WTG 06** è ubicato su depositi rocciosi costituiti da alternanze con livelli lapidei prevalenti, ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti.
- **La stazione elettrica di utenza e la cabina primaria di Quarto di Sarsina** sono ubicati su ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici.

In allegato si riporta lo stralcio della carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.

3.3 GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, il principale elemento che contraddistingue il sito in esame è senza dubbio rappresentato dalla superficie di sovrapposizione a basso angolo che mette a contatto la coltre alloctona ligure ed epiligure o Coltre della Val Marecchia (CVM), sui depositi della successione umbro-marchigiano-romagnola nella parte meridionale del foglio e sulla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quella settentrionale.

L'assetto strutturale della coltre è caratterizzato da un insieme di scaglie embriciate di forma sigmoide (horse), delimitate da superfici litoriche immergenti a sud-ovest (vedi anche in DE FEYTER, 1991 ed in CONTI, 2002), tra le quali spicca, per caratteristiche litostratigrafiche e per il diverso stile strutturale, la potente successione flyschoidale calcareo-marnosa.

L'analisi dei rapporti stratigrafico-strutturali all'interno dell'area studiata, ha permesso di definire l'assetto e l'evoluzione stratigrafico-strutturale delle unità affioranti ed i rapporti tra tettonica e sedimentazione intercorsi tra le unità alloctone e semialloctone della Coltre della Val Marecchia e quelle paleoautoctone e neoautoctone della Successione umbro-marchigiano-romagnola e della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico durante l'intervallo Miocene-Pliocene.

Esistono sostanzialmente, come già accennato, due principali modelli evolutivi che riguardano la Coltre della Val Marecchia, essi si basano sulla distinzione e sulla natura del meccanismo di formazione della Coltre stessa.

Il primo modello considera la gravità come principale causa di evoluzione, dove la CVM si sarebbe strutturata attraverso una serie di processi gravitativi di corpi lenticolari, paragonabili ad enormi flussi o colate massive (MERLA, 1951; SELLI, 1967; TEN HAAF & VAN WAMEL, 1979; REUTTER et alii, 1980; VENERI, 1986; DE FEYTER et alii, 1986; VAN DEN BERG, 1990; DE FEYTER, 1991). Dalle

dinamiche di messa in posto, dipendono conseguentemente la geometria interna dei corpi e dai rapporti con la sottostante successione paleoautoctona.

Il secondo modello lega la messa in posto della CVM esclusivamente a processi tettonici che hanno portato all'evoluzione dell'Appennino Settentrionale, collegando la formazione di bacini epiliguri direttamente alla deformazione del fronte appenninico (CONTI, 1989, 1994; 2002; CONTI & GELMINI, 1995; CONTI & TOSATTI, 1996; CERRINA FERONI et alii, 2002a).

L'area in esame ove sorgeranno gli aerogeneratori si contraddistingue per il carattere marcatamente montuoso, con boschi e foreste, pareti rocciose verticali, i cui maggiori contrasti di acclività si osservano dove i litotipi resistenti e/o cementati (ad esempio i calcari della Formazione di San Marino o le arenarie della Formazione di Monte Comero) si giustappongono ai mélanges argillitici.

Gli aerogeneratori verranno realizzati nel territorio comunale di Verghereto (FC), lungo un allineamento orientato in direzione nord ovest che collega Monte Castelvechio (1254 m s.l.m.) a Monte Comero (1372 m s.l.m.). Tali settori sono attraversati da alcuni sentieri e da una viabilità sterrata.

L'aspetto morfologico della zona risulta condizionato direttamente dall'assetto geologico-strutturale e dal grado di erodibilità dei litotipi affioranti.

Infatti, la diversa natura dei litotipi affioranti nell'area presa in esame, si riflette sulle forme morfologiche a testimonianza di una risposta differenziata all'azione di modellamento degli agenti esogeni, per cui la topografia presenta un andamento piuttosto variabile con cambiamenti di pendenze nel raggio di centinaia di metri.

Dall'esame del rilevamento geomorfologico eseguito sono state valutate attentamente le caratteristiche morfoevolutive caratteristiche di ciascuna area che ospiterà i futuri aerogeneratori.

L'aerogeneratore WTG 01 si colloca ad una quota di 1179 m s.l.m. lungo un crinale roccioso che si sviluppa in direzione nord est verso il Fosso del Prete.

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che l'aerogeneratore in esame si colloca in prossimità di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo che coinvolgono l'intero versante a sud dell'area in esame.

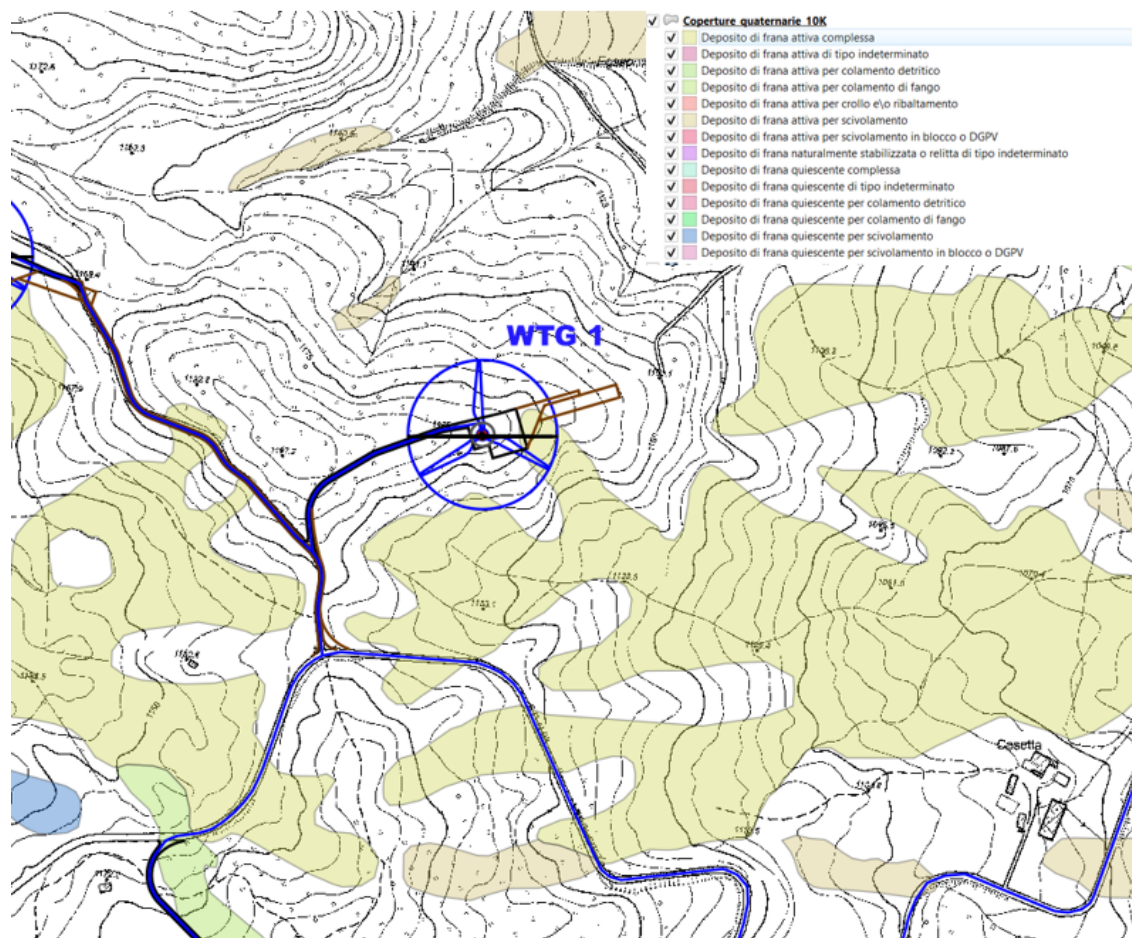


Figura 4 – Aerogeneratore WTG 01 ubicato a margine di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo complesso allo stato attivo

Gli aerogeneratori WTG02 e WTG 03 sono ubicati nella porzione settentrionale del versante "I Prati", il quale si caratterizza per la presenza di litologie per lo più coesive, costituite da argille limose e argilliti tettonizzate, disseccate da una serie di incisioni torrentizie che defluiscono in direzione sud ovest alimentando il "Fosso del Pianello".

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che l'aerogeneratore WTG 02 è ubicato a margine di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo, caratterizzata da una duplice combinazione di fenomeni come gli scivolamenti accompagnati da colamenti di depositi coesivi e/o detritici.

Mentre l'aerogeneratore WTG 03 è collocato all'interno di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "colamento", allo stato quiescente.

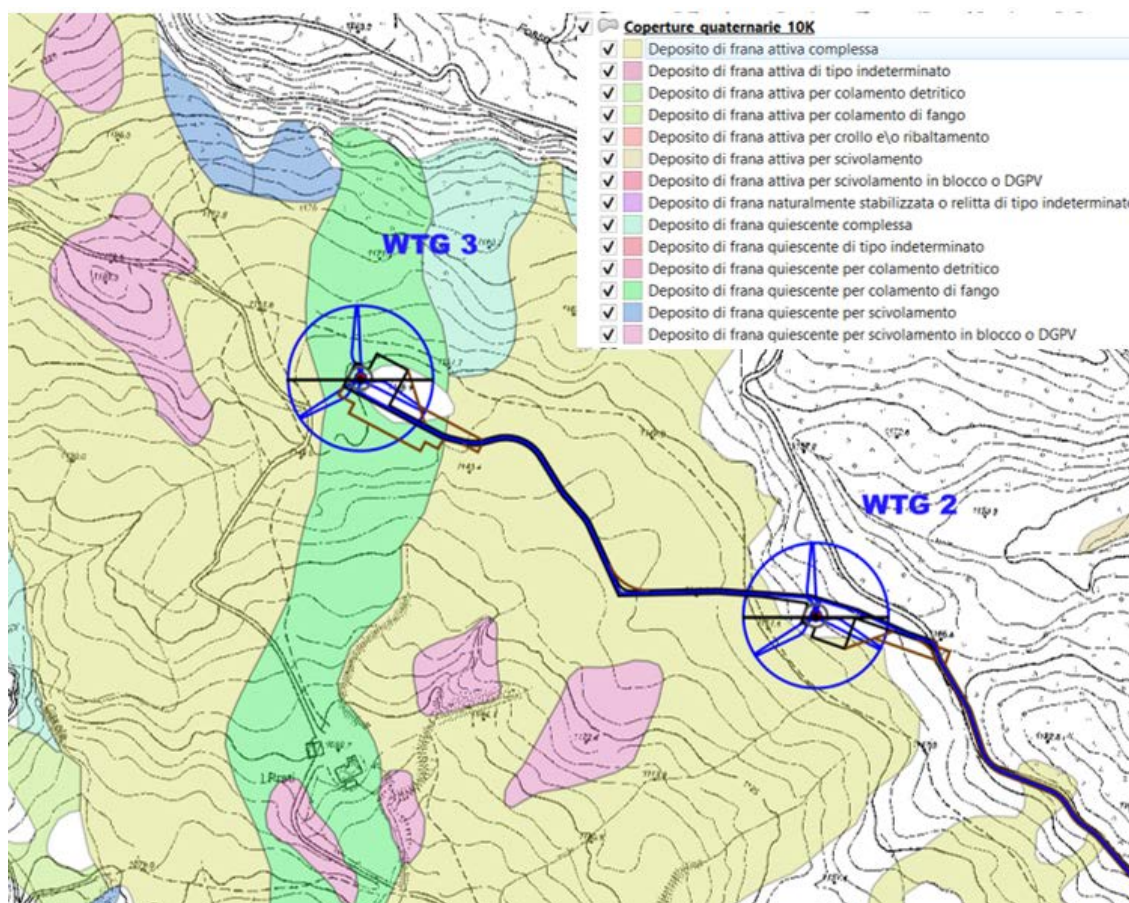


Figura 5 – Aerogeneratori WTG 02 e WTG 03 – Evidenze geomorfologiche

L'aerogeneratore WTG 04 è ubicato lungo il versante Nord del rilievo "Poggio Biancarda", ad una quota di circa 1197,50 m sul livello del mare; tale versante si contraddistingue per le pendenze accentuate e per la presenza di un'area caratterizzata da movimenti gravitativi di tipo "colamento" allo stato attivo, presente nelle vicinanze dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore.

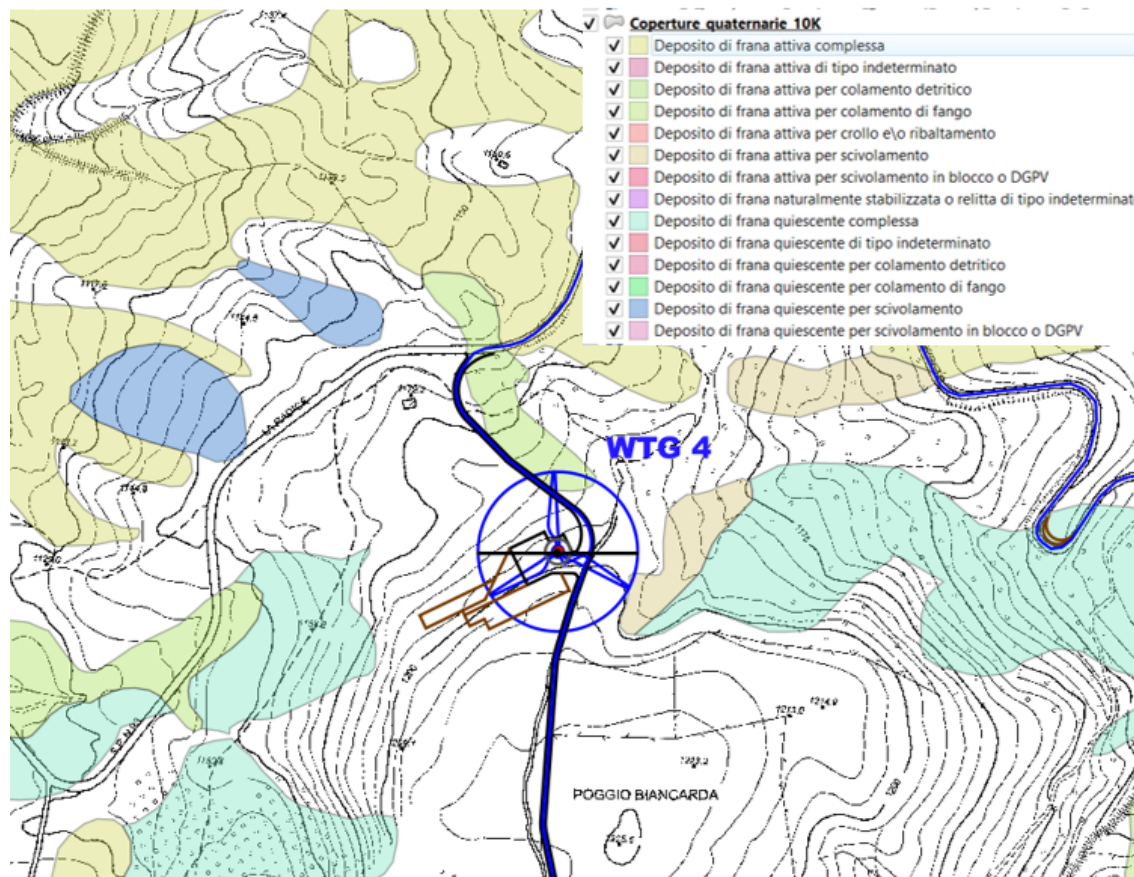


Figura 6 – Aerogeneratore WTG 04 a margine di un'area caratterizzata da movimenti gravitativi di tipo "colamento" allo stato attivo

L'aerogeneratore WTG 05 è ubicato nella parte terminale del versante sud orientale del rilievo "Poggio Biancarda" ad una quota di 1179,50 m s.l.m.

L'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore attualmente si presenta stabile e si caratterizza per le pendenze accentuate e per la presenza, nelle vicinanze, di un'area interessata da movimenti gravitativi per scivolamento allo stato quiescente, che interessa i depositi coesivi delle argille varicolori.

Infine l'aerogeneratore WTG 06 è ubicato lungo un versante con pendenze dell'ordine dei 8-9° e si colloca ad una quota di 1170,50 m s.l.m. in prossimità un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo complesso, allo stato quiescente, costituiti da scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detrito.

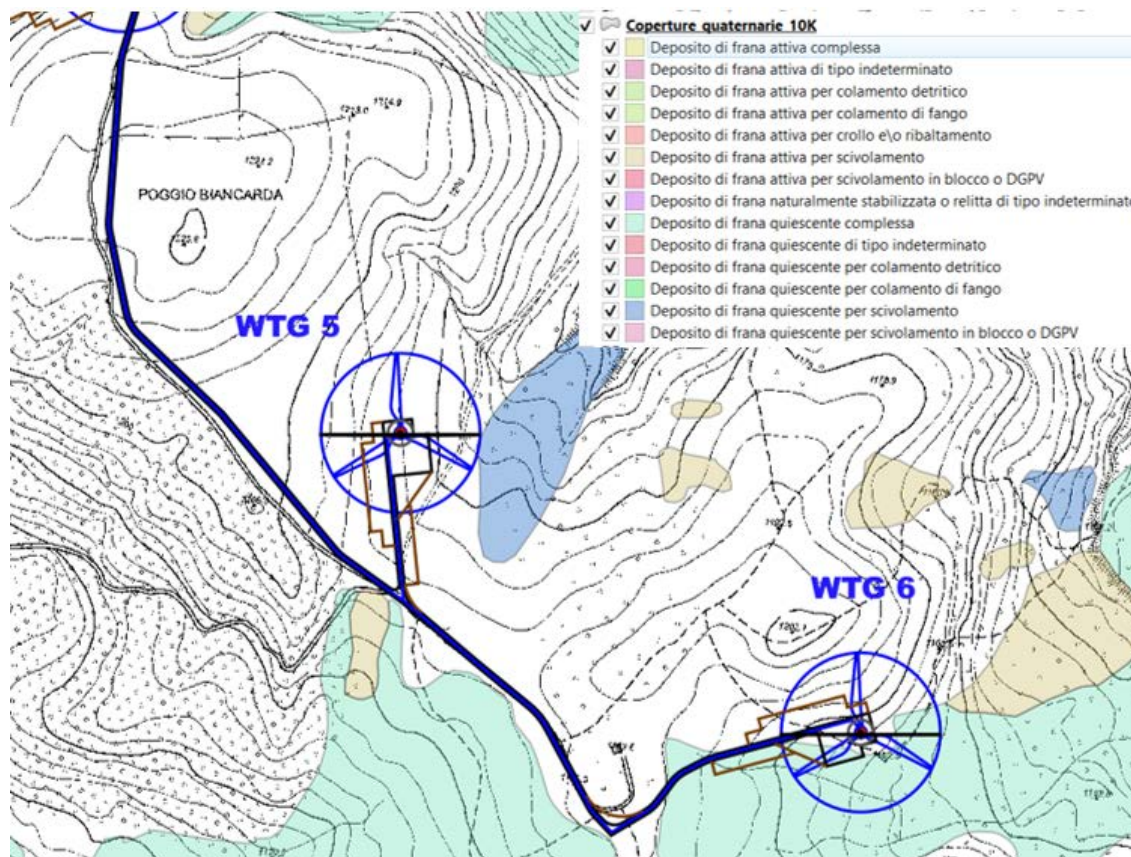


Figura 7 – Aerogeneratori WTG 05 – WTG 06

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso si sviluppa a partire dalla stazione elettrica di Quarto Sarsina (FC), procedendo in direzione sud attraversando il fiume Savio e la diga di Quarto, percorrendo forme tra le più svariate condizionate sia dall'assetto geologico-strutturale, sia dal grado di erodibilità dei litotipi affioranti.

In particolare, il tratto di cavidotto compreso tra le località Versaiola, Donicilio e Alfero, si caratterizza per la notevole pendenza dei versanti e per una morfologia marcata da erosioni torrentizie ad andamento all'incirca rettilineo a breve sviluppo lineare, di cui tipica forma di erosione individuabile è quella dei calanchi.



Figura 8 – Morfologie calanchive lungo il percorso del cavidotto di progetto

Successivamente il cavidotto si imposta lungo il crinale del Poggio delle Zoccole, in destra orografica del torrente Alferello, per poi attraversarlo in direzione sud ovest sino a congiungersi con gli aerogeneratori in progetto.

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che il cavidotto di progetto attraversa una serie di aree cartografate come zone interessate da depositi di frana attiva di tipo complesso, depositi di frana quiescente per movimenti di scivolamento e colamento, depositi di frana attiva per fenomeni di colamento e scivolamento e depositi di frana di tipo complesso allo stato quiescente.

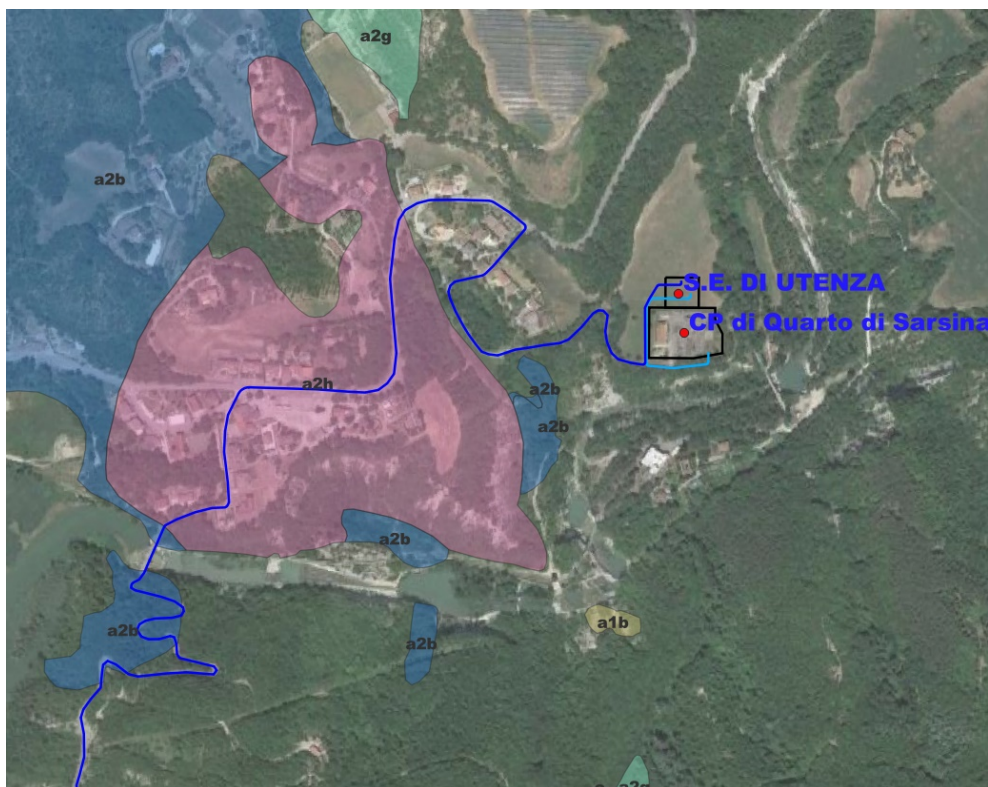


Figura 9 – Cavidotto di progetto con individuazione aree interessate da depositi di frana quiescenti e attivi

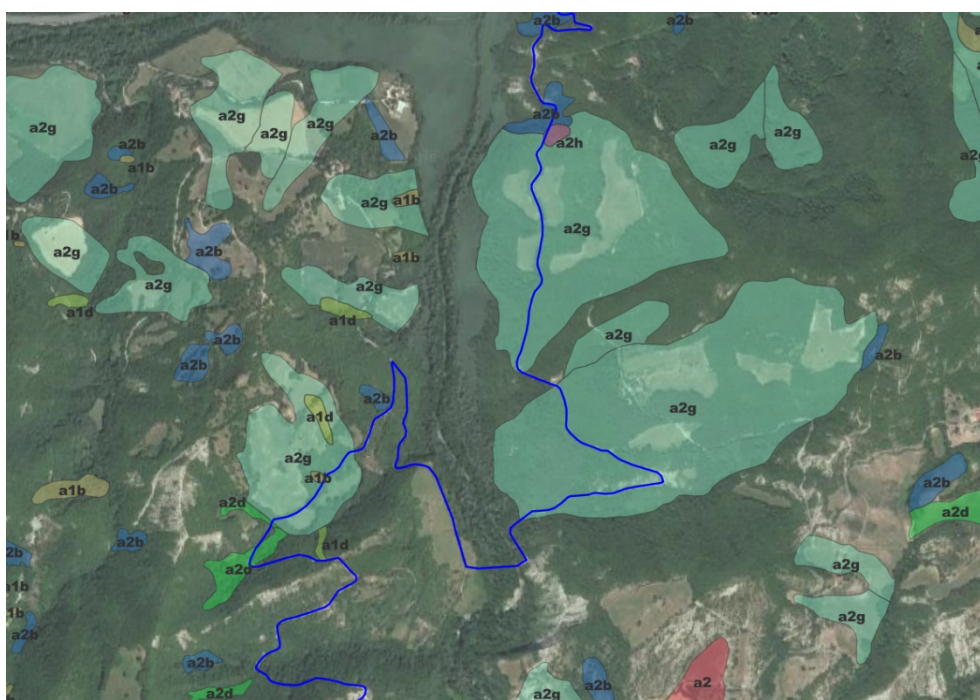


Figura 10 – Cavidotto di progetto con individuazione aree interessate da depositi di frana quiescenti e attivi



Figura 11 – Cavidotto di progetto con individuazione aree interessate da depositi di frana quiescenti e attivi



Figura 12 – Cavidotto di progetto con individuazione aree interessate da depositi di frana quiescenti e attivi


- ✓  **Coperture quaternarie 10K**
- ✓ **a1g** Deposito di frana attiva complessa
 - ✓ **a1** Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
 - ✓ **a1e** Deposito di frana attiva per colamento detritico
 - ✓ **a1d** Deposito di frana attiva per colamento di fango
 - ✓ **a1a** Deposito di frana attiva per crollo e/o ribaltamento
 - ✓ **a1b** Deposito di frana attiva per scivolamento
 - ✓ **a1h** Deposito di frana attiva per scivolamento in blocco o DGPV
 - ✓ **a2g** Deposito di frana quiescente complessa
 - ✓ **a2** Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato
 - ✓ **a2e** Deposito di frana quiescente per colamento detritico
 - ✓ **a2d** Deposito di frana quiescente per colamento di fango
 - ✓ **a2b** Deposito di frana quiescente per scivolamento
 - ✓ **a2h** Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco o DGPV

Figura 13 – Legenda aree interessate da depositi di frana quiescenti e attivi

3.4 IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico, i complessi idrogeologici caratteristici dell'area di sedime che ospiterà gli aerogeneratori in esame sono quelli rappresentati dal "complesso delle argille varicolori", con intercalazioni di calcari grigio-verdastri presenti sottoforma di strati e banchi e dal "complesso flyscioide" costituito da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti.

Entrambi i complessi sono caratterizzati da una permeabilità medio bassa e impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo generalmente possibile solo una modesta circolazione idrica, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale.

Solo in alcuni intervalli, caratterizzati dalla presenza di termini litoidi, si può manifestare una circolazione relativamente più profonda e cospicua.

Inoltre, l'articolato assetto litologico - strutturale ed idrogeologico determina una circolazione idrica di tipo complesso con zone ad alta permeabilità, poste in corrispondenza degli strati litoidi fratturati, e zone del tutto impermeabili nei termini argillosi. Questo determina sia la saturazione dei terreni argillosi che si trovano a contatto con i termini litoidi che delle sovrappressioni interstiziali con conseguente diminuzione delle caratteristiche meccaniche delle argille che, in condizioni di pendio, possono determinare l'innescio di scorrimenti e colate.

3.5 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA DA NORMATIVA

Dalla distribuzione areale e dalla notevole estensione territoriale delle opere in progetto è emerso che il futuro parco eolico attraversa i territori di competenza dell'autorità di Bacino dell'Emilia Romagna.

Le aree a pericolosità geomorfologiche individuate dal PAI sono suddivise, in funzione dei differenti gradi di rischio in:

- Aree a rischio moderato – R1
- Aree a rischio medio R2
- Aree a rischio alto R3

- *Aree a rischio molto elevato R4*

Di seguito si riporta una tabella esplicativa riportante le tipologie di rischio dell'autorità di Bacino competente, che attraversano le opere in progetto.

AUTORITA' DI BACINO DELL'EMILIA ROMAGNA	
TIPOLOGIA DI OPERA DA REALIZZARE	TIPOLOGIA DI RISCHIO
Aerogeneratori WTG 01-02-03-04- porzione di cavidotto	<i>Rischio medio R2</i>
Porzione di cavidotto	<i>Rischio moderato R1</i>
Porzione di cavidotto	<i>Rischio molto elevato R4</i>

Tabella esplicativa Autorità di Bacino Emilia Romagna

In allegato si riporta uno stralcio della cartografia tematica dell'autorità di bacino competente con individuazione del parco eolico e delle opere connesse in esame.

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1 DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI DA ESEGUIRE

Considerata l'entità dell'intervento, le conoscenze geologiche pregresse e le indagini geognostiche eseguite dal sottoscritto in zone limitrofe all'area di interesse, per la caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area in esame è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in:

- *N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi a profondità variabili da 4.50 a 8.10 m dal piano campagna*
- *N. 2 indagini sismiche MASW*

In allegato si riportano le planimetrie con l'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

4.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH

4.2.1 GENERALITA'

Nel corso della campagna di indagini geognostiche sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti denominate DPSH 01 e DPSH 02, spinte sino al raggiungimento del rifiuto strumentale avvenuto a profondità variabili da 4.50 m a 8.10 m per un totale di 12.60 metri di investigazione.

FRI-EL

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA
Impianto Eolico denominato "Monte Comero" ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)



Codifica Elaborato: **224309_D_R_0405** Rev. **00**

Prova Penetrometrica Dinamica Pesante DPSH 01

Prova Penetrometrica Dinamica Pesante DPSH 02

Le prove penetrometriche dinamiche pesanti vengono eseguite con il Penetrometro Dinamico Pesante Pluristandard della Pagani TG 63-200 KN.

Esse consistono nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

La prova fornisce una valutazione qualitativa e quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Le informazioni fornite dalle prove sono di tipo continuo poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

Il campo di utilizzazione della prova è molto vasto, viene infatti eseguita in tutti i tipi di terreno sia coesivo che granulare (dalle argille alle ghiaie).

4.2.2 CARATTERISTICHE

La prova viene eseguita con attrezzatura e modalità standard EMILIA 30 appresso descritte:

- *il maglio ha un peso $Q = 63.50$ Kg;*
- *l'altezza di caduta del maglio è costante ed è pari ad $H = 75$ cm;*
- *peso testa, guida, ecc. $q = 15$ Kg*
- *lunghezza aste $L = 1.00$ metri*
- *peso delle aste 6.00 Kg/m*
- *diametro delle aste $\phi = 32$ mm*
- *angolo di apertura della punta $\phi = 60^\circ$*
- *diametro della base della punta conica $D = 50.5$ mm*
- *area della punta 20 cm²*
- *la registrazione dei colpi N avviene ogni qual volta il gruppo di infissione ha un abbassamento nel terreno pari a 30 cm*
- *energia specifica del colpo 7.9375 Kg/cm²*
- *coefficiente di correlazione con l'NSPT 1.01 .*

4.2.3 INTERPRETAZIONE

Diagrammando su un grafico cartesiano il numero di colpi N_{scpt} in funzione della profondità, è possibile individuare strati caratterizzati da un numero di colpi pressoché simile determinando una stratigrafia geotecnica dei terreni attraversati.

Mediando i valori della resistenza all'avanzamento del gruppo di infissione, rilevati nell'ambito di ognuno degli strati così individuati, si possono ricavare le caratteristiche geotecniche dei terreni che li compongono. In particolare, attraverso opportune formule di correlazione (riportate nel paragrafo seguente), si ricavano una serie di parametri identificativi: la resistenza alla punta del penetrometro statico (R_p), la resistenza a rottura non drenata che, opportunamente correlata, permette di quantificare l'angolo di attrito interno medio (ϕ) e la coesione non drenata (C_u), il modulo edometrico (E_{ed}) che fornisce le indicazioni sulla compressibilità dei terreni, la densità relativa (D_r) per la determinazione dello stato di addensamento dei terreni. Le caratteristiche geotecniche dei vari strati individuati vengono riportate, per ogni prova, in una tabella riassuntiva insieme al grafico e al listato del numero di colpi misurati ogni 30 cm.

Nel grafico che segue è riportato l'andamento del numero di colpi (n) in funzione della profondità.

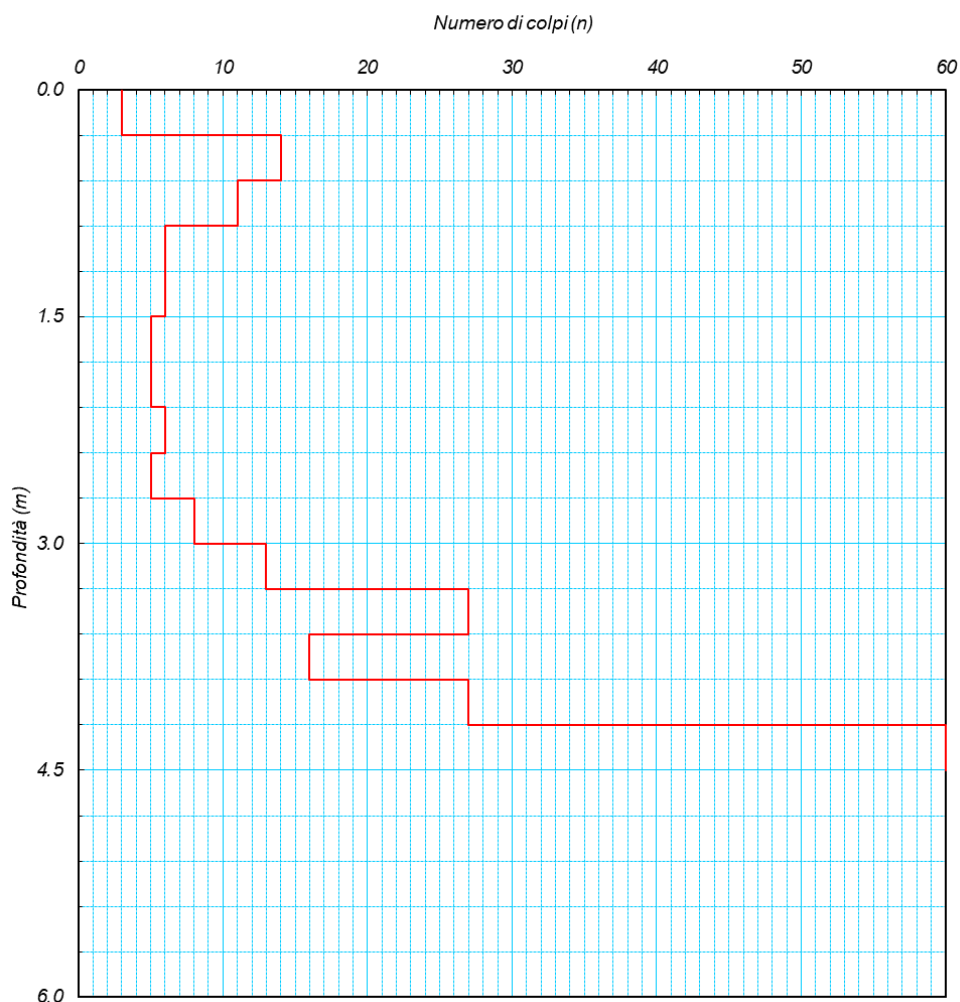


Grafico N.Colpi/ Profondità della prova DPSH 01 eseguita nella zona dell'impianto

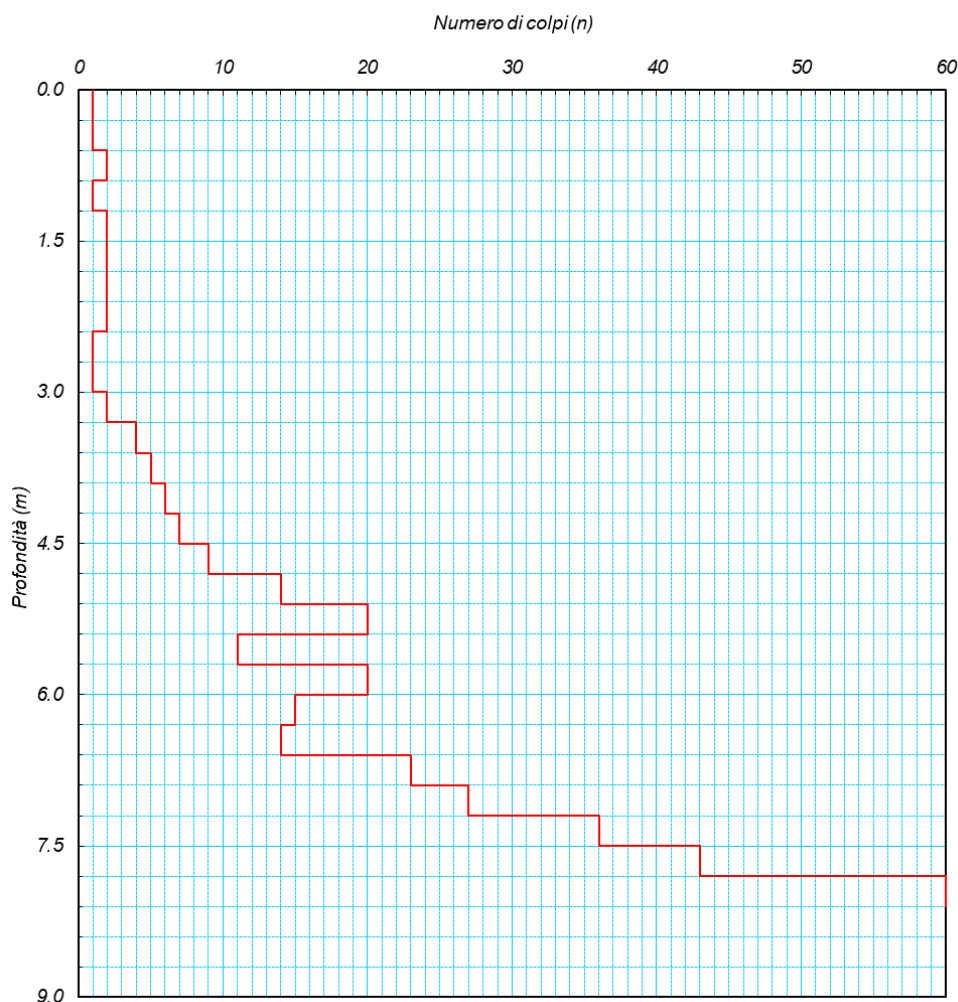


Grafico N.Colpi/ Profondità della prova DPSH 02 eseguita nella zona dell'impianto

4.3 INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Nel corso della campagna di indagini geognostiche sono state eseguite n. 2 indagini sismiche di superficie di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh).

Tale indagine è stata condotta con il triplice scopo di individuare gli spessori dei litotipi caratterizzanti l'area, individuarne le caratteristiche sismostratigrafiche e di classificare sismicamente il suolo dell'area oggetto di studi per ottemperare alla normativa antisismica (D.M. 17/01/18).

Indagine sismica di superficie Masw M1

Indagine sismica di superficie Masw M2

4.3.1 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intera procedura per una MASW consiste di 4 passi fondamentali:

1. *Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra o fucile sismico), lungo uno stendimento rettilineo di sorgentegeofoni;*

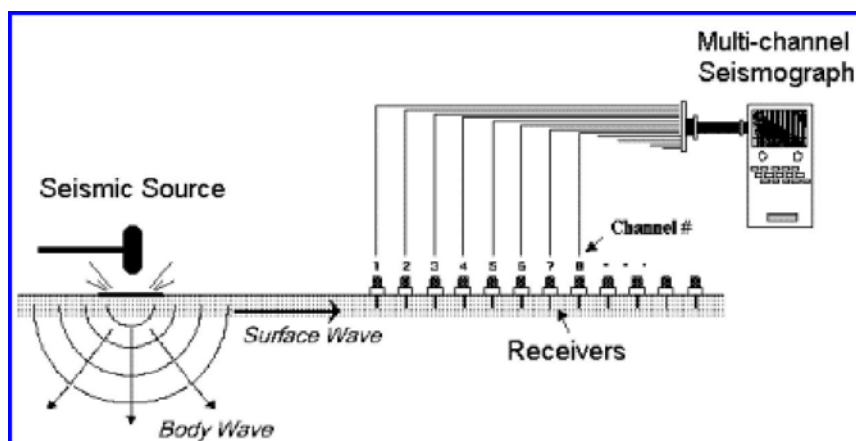


Figura 14 Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

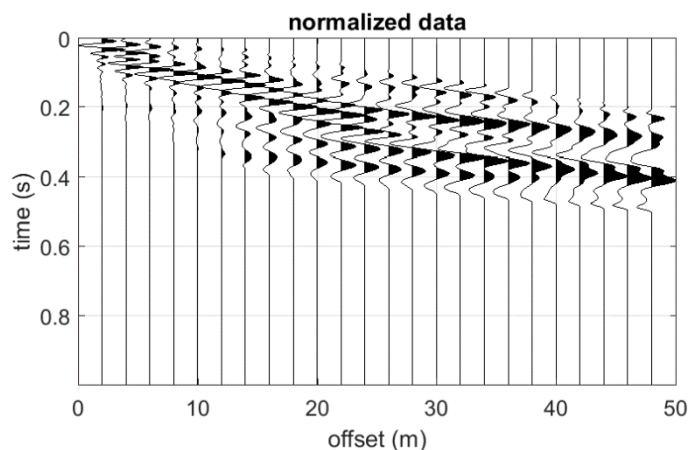


Figura 15 Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento tipo.

2. Estrazione del modo fondamentale ed eventualmente, se presenti, dei modi superiori dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;

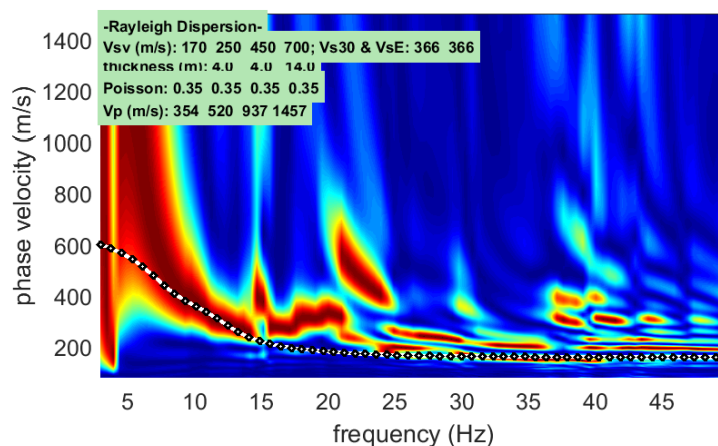


Figura 16 Esempio di curva di dispersione: velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle Vs dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero due spostamenti lungo la linea dello stendimento).

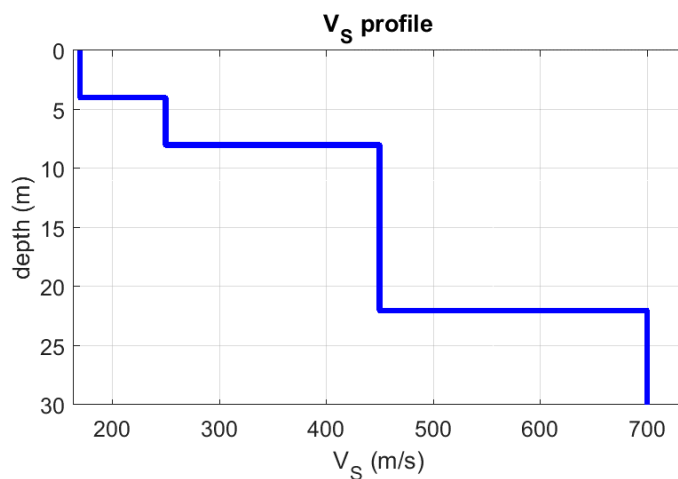


Figura 17 Esempio di modello di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto dalla curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato del terreno

4.3.2 STRUMENTAZIONE ADOPERATA

La strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- *Sismografo Pasi 16S24P basato su un processore Windows XP con 24 canali di registrazione simultanea a 24 bit, con filtri passa basso, passa alto ed a taglio di frequenza, memorizzazione delle onde registrate su un disco rigido interno di 60 GB, possibilità di interfaccia con stampante, tastiera e mouse esterno.*



Sismografo Pasi 16S24

- *24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, con risposta lineare a partire dalla frequenza di 4.5 Hz e relativo cavo di collegamento;*



Geofono

- *massa battente e cannoncino sismico per l'energizzazione del terreno.*

4.3.3 DISPOSIZIONI E CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

Lo stendimento è stato eseguito disponendo 24 geofoni da 4.50 Hz ad una distanza di 2 metri uno dall'altro, per una lunghezza complessiva di 46 metri di stendimento. La sorgente energizzante è stata posta ad una distanza pari a 2 metri dal primo geofono. In prima analisi si esegue una energizzazione con piastra metallica impattata da una mazza da 10 kg, per la verifica della risposta dei terreni, dei guadagni da impostare sui vari canali e per verificare se le impostazioni relative al passo di campionamento, il tempo di registrazione, ecc. siano adeguate ai terreni presenti nel sottosuolo. Successivamente, l'energizzazione si esegue generalmente con l'ausilio di un fucile sismico che utilizza cartucce calibro 8 industriali; questo permette di avere un'energia nettamente superiore al rumore ambientale e rende più chiare e leggibili le tracce registrate.

5 MODELLAZIONE SISMICA

5.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le norme per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del O.P.C.M. 3274 e Decreto 14 settembre 2005), avevano suddiviso il territorio nazionale in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g ,

da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale erano riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella che segue:

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

Il comune di Verghereto (FC), con D.G.R. n. 1626 del 15/09/2009 che approvò l'aggiornamento della classifica sismica, venne classificato di categoria 2.

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

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

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

Di seguito si riporta la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, per il comune di Verghereto nel quale ricadono i 6 aerogeneratori da installare.

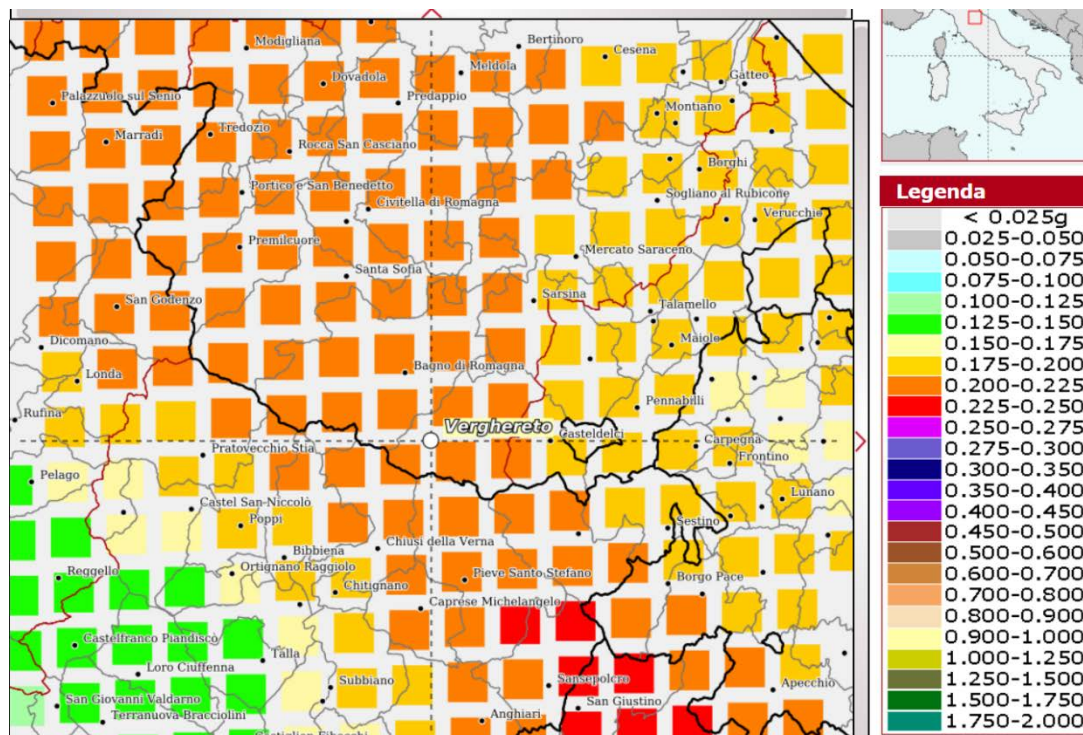


Figura 18 Comune di Verghereto (FC) - Aerogeneratori WTG 01-02-03-04-05-06
 Mappa di pericolosità sismica e relativa legenda con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
[\(http://eset1-gis.mi.ingv.it/\)](http://eset1-gis.mi.ingv.it/)

Secondo le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale, per il sito in esame l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ag varia tra 0.200 e 0.225 g (g espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi) - ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La disaggregazione dei valori di ag con la medesima probabilità di eccedenza, mostra come il contributo percentualmente maggiore alla pericolosità sismica di base per il parco eolico in esame, sia determinato da sismi con magnitudo massima pari a 5.97 con epicentri individuati ad una distanza di 12.50 km.

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

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni ag e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: ag accelerazione orizzontale massima del terreno; Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; *Tc periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in

accelerazione orizzontale. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

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

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

Considerando che le aree di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori appartengono alla categoria sismica C e alle categorie topografiche T1 e T2, si riportano i valori di tali parametri ai vari stati limite previsti dalla normativa, (SLO stato limite di operatività, SLD stato limite di danno, SLV stato limite di salvaguardia della vita, SLC stato limite di prevenzione del collasso), calcolati all'interno del settore in cui verranno realizzati gli aerogeneratori WTG 01-02-03-04-05 e 06.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0.125	2.398	0.285
SLD	201	0.152	2.417	0.291
SLV	1898	0.315	2.538	0.323
SLC	2475	0.341	2.559	0.326

Gli stessi valori sono di seguito riportati sotto forma di grafico

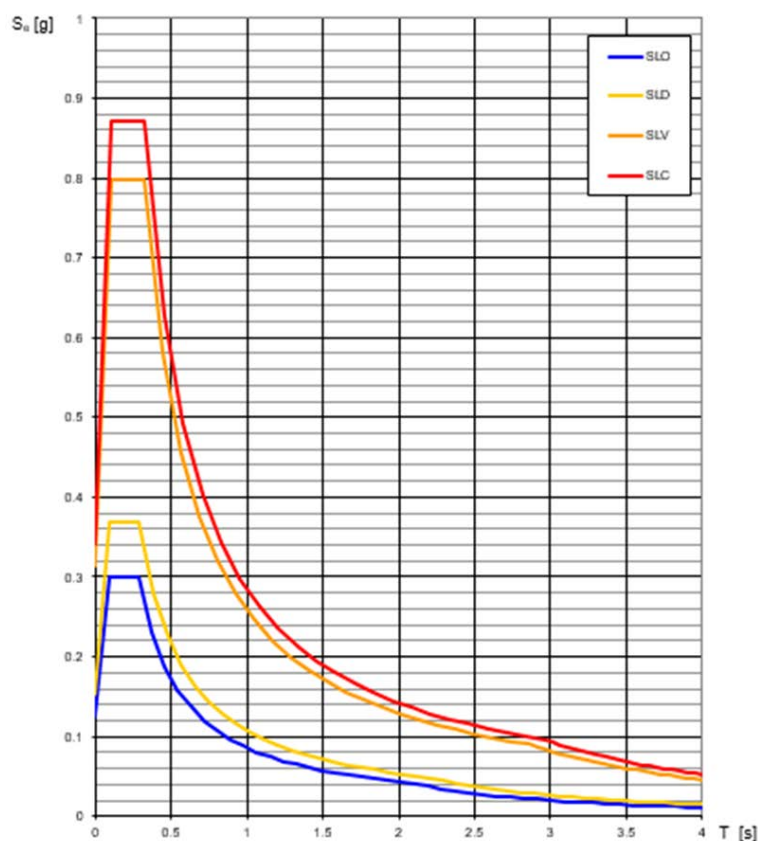
Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

Figura 19 Grafici spettri di risposta per i diversi stati limite (aerogeneratori WTG 01-02-03-04-05-06)

5.2 RISULTATI INDAGINI SISMICHE MASW

I risultati delle indagini sismiche MASW, riportati negli allegati sia in forma numerica che grafica presentano velocità delle onde di taglio compatibili con le litologie presenti.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$, è definito dall'espressione:

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

dove h_i e $V_{S,i}$ sono gli spessori e le velocità delle onde di taglio dei singoli strati e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Quando la profondità H del substrato è superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} 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.

Per la prova MASW M1, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 01, il $V_{S,eq}$ calcolato a partire dal piano campagna risulta pari a 310 m/s.

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	3.80	250	0.0152
3.80	7.80	370	0.0108
7.80	19.80	1400	0.0086
19.80	32.80	1500	0.0087
32.80	40.00	1600	0.0045

Figura 20 Tabella delle velocità rilevate dal MASW M1

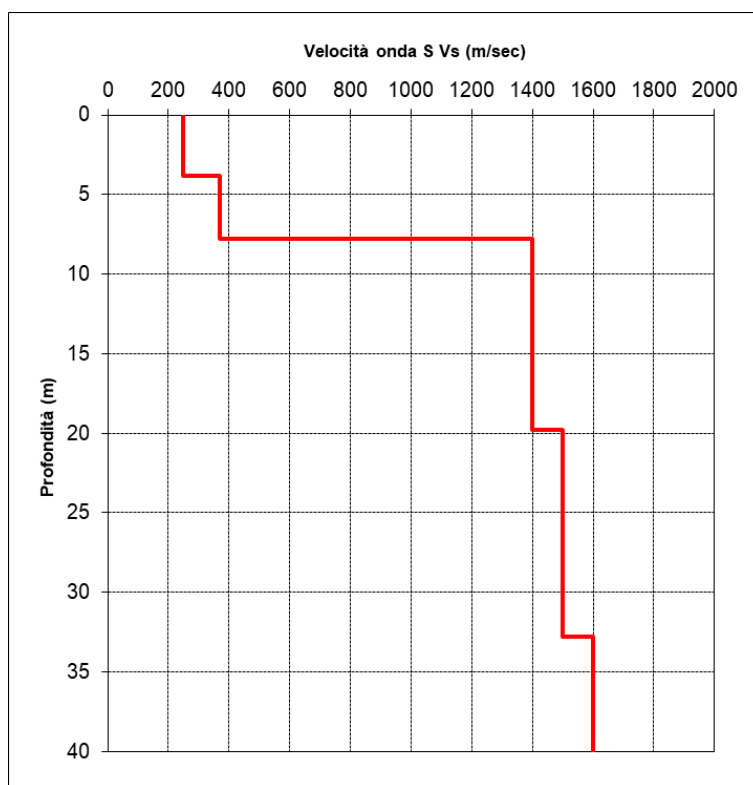


Figura 21 Grafico velocità-profondità dal MASW M1

Per la prova MASW M2, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 04, il $V_{s,eq}$ calcolato a partire dal piano campagna risulta pari a 266 m/s.

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	14.00	180	0.0778
14.00	36.00	290	0.0759
36.00	48.00	600	0.0200
48.00	50.00	700	0.0029

Figura 22 Tabella delle velocità rilevate dal MASW M2

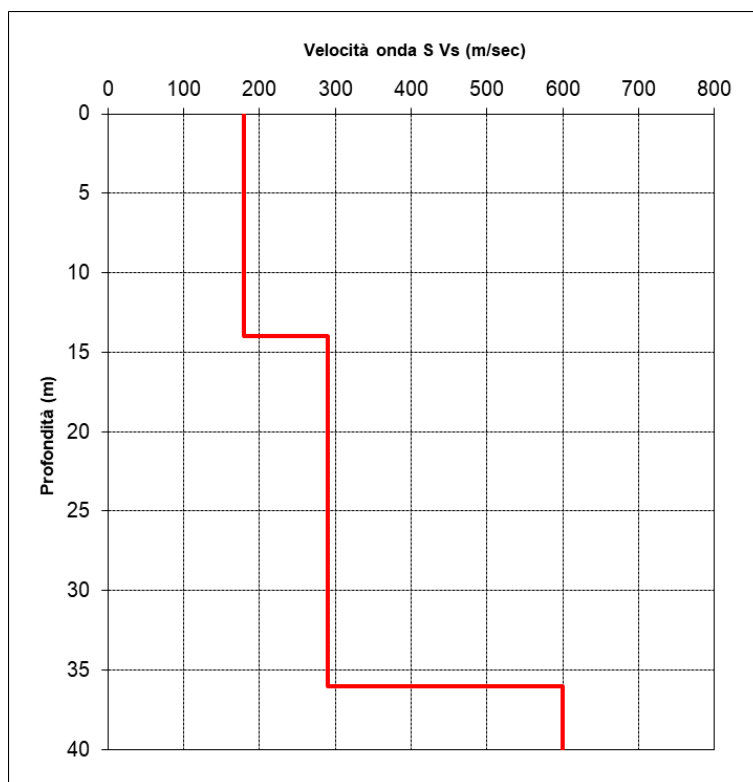


Figura 23 Grafico velocità-profondità dal MASW M2

5.3 ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state eseguite n° 2 indagini sismiche di tipo MASW, dalle quali emerge che le velocità delle onde di taglio sono compatibili con le litologie presenti con valori di V_{seq} attribuibili alle categorie di suolo C e B.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$, è definita dall'espressione:

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

dove h_i e V_{Si} sono gli spessori e le velocità delle onde di taglio dei singoli strati e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Quando la profondità H del substrato è 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.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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	Depositi 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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Categorie di sottosuolo sismico per l'approccio semplificato

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

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

Espressioni di S_s e C_c

5.4 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

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

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

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se presentano altezze maggiori di 30 m.

Per ciò che concerne l'area in studio, considerando che il parco eolico ricoprirà un'area più o meno estesa caratterizzata da morfologie piuttosto variegata, dall'analisi dei valori di inclinazione media dei tratti di versante e/o dorsale collinare ove andranno posizionati gli aerogeneratori il coefficiente topografico da adottare è quello relativo alla categoria topografica T1.

6 MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

6.1 INDAGINI GEOTECNICHE

Dalle conoscenze pregresse e dal modello geologico risultante dell'area di studio, oltre alle prove penetrometriche opportunamente eseguite:

- *N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi a profondità variabili da 4.50 a 8.10 m dal piano campagna*
- *N. 2 indagini sismiche MASW*

si è proceduto ad analizzare una serie di indagini realizzate nel corso degli anni in aree limitrofe al sito in esame e su terreni con caratteristiche simili.

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

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

In particolare, le aree di sedime sulle quali verranno ubicati gli aerogeneratori, sostanzialmente sono riconducibili a depositi argilloso limosi con sottili e frequenti intercalazioni di rocce presenti sottoforma di livelli e/o banchi costituiti da alternanze tra livelli lapidei di natura arenaria, calcarenitica e calcilutitica.

6.1.1 INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DPSH 01- DPSH 02

Per la caratterizzazione geotecnica delle aree che ospiteranno i futuri aerogeneratori sono state prese in considerazione le prove penetrometriche DPSH 01 e DPSH 02.

Di seguito si riportano i grafici N.Colpi/Profondità delle prove e l'interpretazione delle stesse con le tabelle riassuntive dei parametri geotecnici individuati.

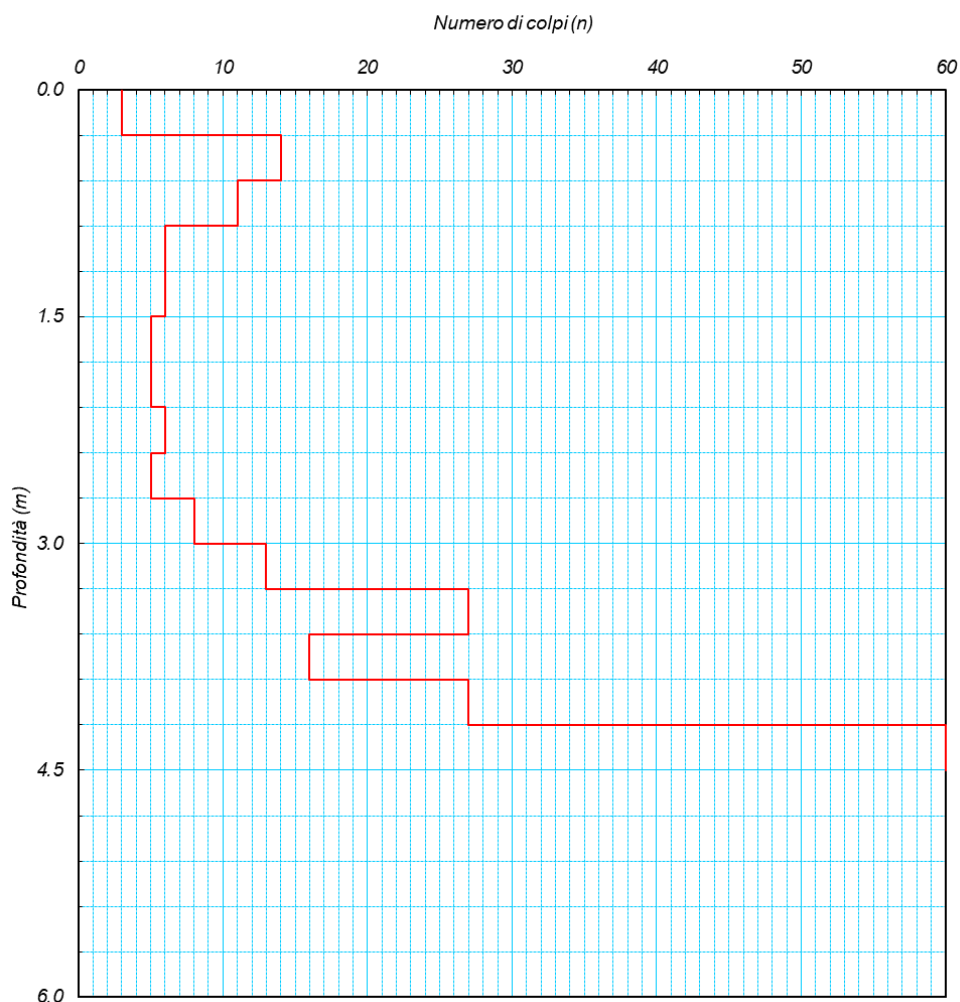


Grafico N.Colpi/ Profondità della prova DPSH 01 eseguita nella zona dell'impianto

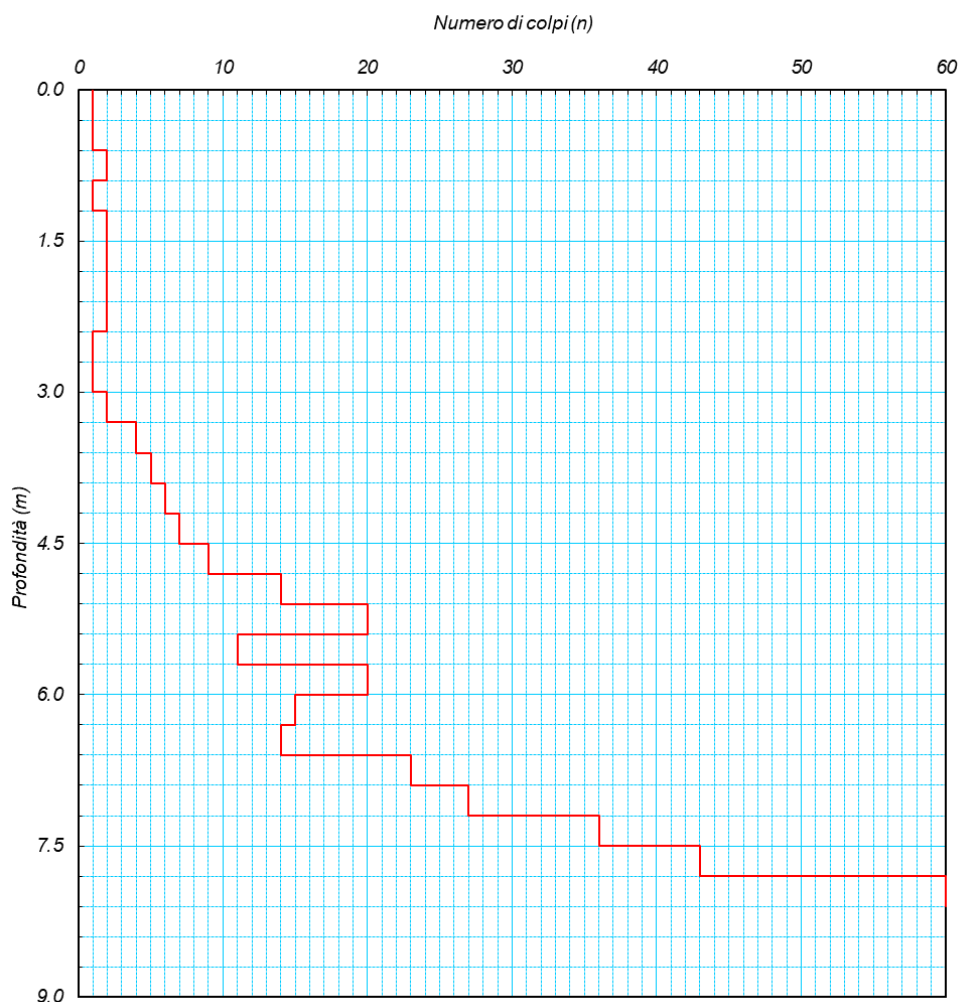


Grafico N.Colpi/ Profondità della prova DPSH 02 eseguita nella zona dell'impianto

Come è possibile evincere dai grafici surriportati, dalle prove eseguite emerge una sostanziale eterogeneità tessiturale tipica dei materiali caratteristici dell'area in esame, passando da litologie coesive a granulometria argilloso limosa con inclusi litici eterometrici calcarei e calcareo marnosi presenti sottoforma sia di livelli che distribuiti in maniera diffusa, a rocce vere e proprie costituite da alternanze con livelli fini argilloso limosi.

Di seguito si riportano i parametri geotecnici rilevati dalle prove penetrometriche eseguite.

Prova (n): DPSH 01

STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA

DATI GENERALI

Strato (n)	1	2	3	4
Profondità iniziale (m)	0.00	0.90	2.70	4.20
Profondità finale (m)	0.90	2.70	4.20	4.50
Potenza dello strato (m)	0.90	1.80	1.50	0.30
Peso di volume attribuito (g/cm³)	1.70	1.80	1.90	2.00
Pressione vert efficace (Kg/cm²)	0.15	0.49	0.80	0.90
Media numero colpi (N)	9	6	18	60
Media resist. alla Punta (Kg/cm²)	29.00	25.00	57.00	150.00

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA GRANULARE

Angolo di attrito (°)	32	31	35	>38
Densità relativa (%)	53	43	75	100
Mod. di deformazione (Kg/cm²)	87	75	171	450
Mod. taglio dinamico (Kg/cm²)	38	118	219	268
Stato di addensamento	S	S	M	M D

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA COESIVA

Coesione non dren. (Kg/cm²)	1.44	1.23	2.81	7.46
Modulo edometrico (Kg/cm²)	63.00	55.00	125.00	330.00
Grado di sovracons. OCR (-)	15.71	0.95	0.78	1.66
Mod. di taglio dinam. (t/m²)	7.770	5.664	13.343	34.126
Stato di consistenza	C	Med	M C	D

LEGENDA

Terreni di natura granulare - Stato di addensamento

M S=Molto sciolto, S=Sciolto, M=Medio, D=Denso, M D=Molto Denso

Terreni di natura coesiva - Stato di consistenza

M=Molle, T=Tenero, Med=Medio, C=Compatto, M C=Molto Compatto, D=Duro

Tabella parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH 01

Prova (n): DPSH 02

STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA

DATI GENERALI

Strato (n)	1	2	3	4	5
Profondità iniziale (m)	0.00	3.30	4.80	6.60	7.80
Profondità finale (m)	3.30	4.80	6.60	7.80	8.10
Potenza dello strato (m)	3.30	1.50	1.80	1.20	0.30
Peso di volume attribuito (g/cm³)	1.80	1.90	1.95	2.00	2.10
Pressione vert efficace (Kg/cm²)	0.59	0.91	1.29	1.56	1.70
Media numero colpi (N)	2	6	16	29	60
Media resist. alla Punta (Kg/cm²)	5.00	19.00	48.00	87.00	153.00

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA GRANULARE

Angolo di attrito (°)	28	31	34	38	>38
Densità relativa (%)	25	43	70	95	100
Mod. di deformazione (Kg/cm²)	15	57	144	261	459
Mod. taglio dinamico (Kg/cm²)	130	222	343	465	507
Stato di addensamento	M S	S	M	M	M D

PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA COESIVA

Coesione non dren. (Kg/cm²)	0.22	0.90	2.34	4.27	7.56
Modulo edometrico (Kg/cm²)	11.00	41.00	105.00	191.00	336.00
Grado di sovracons. OCR (-)	0.11	0.18	0.21	0.26	0.40
Mod. di taglio dinam. (t/m²)	2.404	5.664	12.171	19.355	34.126
Stato di consistenza	T	Med	M C	M C	D

LEGENDA

Terreni di natura granulare - Stato di addensamento

M S=Molto sciolto, S=Sciolto, M=Medio, D=Denso, M D=Molto Denso

Terreni di natura coesiva - Stato di consistenza

M=Molle, T=Tenero, Med=Medio, C=Compatto, M C=Molto Compatto, D=Duro

Tabella parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH 02

6.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI

Dall'analisi delle conoscenze dello scrivente, dal modello geologico e dalle indagini geotecniche in sito opportunamente eseguite, unitamente alle indagini reperite nelle immediate vicinanze, è stato possibile definire il modello geotecnico del sottosuolo.

Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici medi rappresentativi.

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO									
Aerogeneratori WTG 01-WTG02-WTG03-WTG04-WTG05-WTG06									
Profondità dal piano campagna. (m)		Descrizione litologica (Formazione)	Numero di Colpi N _{50T}	Peso di volume naturale g/cm³	Peso di volume saturo g/cm³	Angolo di attrito Picco (°)	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo edometrico
Da	a		(n.)	g/cm³	g/cm³	(°)		Kg/cm²	Kg/cm²
0.00	3.50	Argille limose alterate, plastiche e poco consistenti.	2	1.80	1.95	26	0.02	0.25	15
3.50	6.50	Argille limose con presenza di inclusi litici eterometrici di natura calcarea, arenacea e marnosa. Materiale moderatamente consistente	10	1.90	2.05	28	0.08	1.00	50
6.50	20.00	Argille limose ricche di inclusi litici eterometrici e con intercalazioni di arenarie e calcareniti moderatamente fratturate	40	2.00	2.10	30	0.12	3.00	80
Vs eq: 310 m/sec (M1) – 266 m/s (M2) Categoria di suolo: C. Categoria topografica: T1									

Tabella parametri geotecnici area di impianto degli aerogeneratori

6.3 STABILITÀ DELL'AREA

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

In particolare, le aree di sedime che ospiteranno gli aerogeneratori WTG 01 e WTG 02 attualmente si presentano stabili ma si collocano a margine di aree classificate dalla Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, come aree interessate da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo, caratterizzati da una duplice combinazione di fenomeni come gli scivolamenti accompagnati da colamenti di depositi coesivi e/o detritici.

Mentre l'aerogeneratore WTG 03 è collocato all'interno di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "colamento", con stato di attività definito "quiescente".

L'aerogeneratore WTG 04 è ubicato lungo un versante che si contraddistingue per le pendenze accentuate e per la presenza di un'area caratterizzata da movimenti gravitativi di tipo "colamento" allo stato attivo, presente nelle vicinanze dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore, mentre l'area che ospiterà l'aerogeneratore WTG 05 attualmente si presenta stabile e si caratterizza per le pendenze accentuate e per la presenza nelle vicinanze di un'area interessata da movimenti gravitativi per scivolamento allo stato quiescente, che interessa i depositi coesivi delle argille varicolori.

Infine l'aerogeneratore WTG 06 è ubicato nelle vicinanze di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo complesso, allo stato quiescente, costituiti da scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detrito.

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso si sviluppa a partire dalla stazione elettrica di Quarto Sarsina (FC), procedendo in direzione sud attraversando il fiume Savio e la diga di Quarto, percorrendo forme tra le più svariate condizionate sia dall'assetto geologico-strutturale, sia dal grado di erodibilità dei litotipi affioranti.

In particolare, il tratto di cavidotto compreso tra le località Versaiola, Donicilio e Alfero, si caratterizza per la notevole pendenza dei versanti e per una morfologia marcata da erosioni torrentizie ad andamento all'incirca rettilineo a breve sviluppo lineare, di cui tipica forma di erosione individuabile è quella dei calanchi.

Pertanto, alla luce di quanto esposto le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da forme di dissesto molteplici che in alcuni casi lambiscono e si sviluppano lungo le aree a margine delle zone in studio, in altri casi invece coinvolgono le aree in esame manifestandosi sotto forma di movimenti gravitativi attualmente allo stato quiescente e in taluni casi allo stato attivo.

Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche puntuali, con lo scopo di valutare e analizzare attentamente le caratteristiche geotecniche del caso.

6.4 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

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

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

dove:

c = coesione del terreno

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

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

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

a) $c = 0$;

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

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

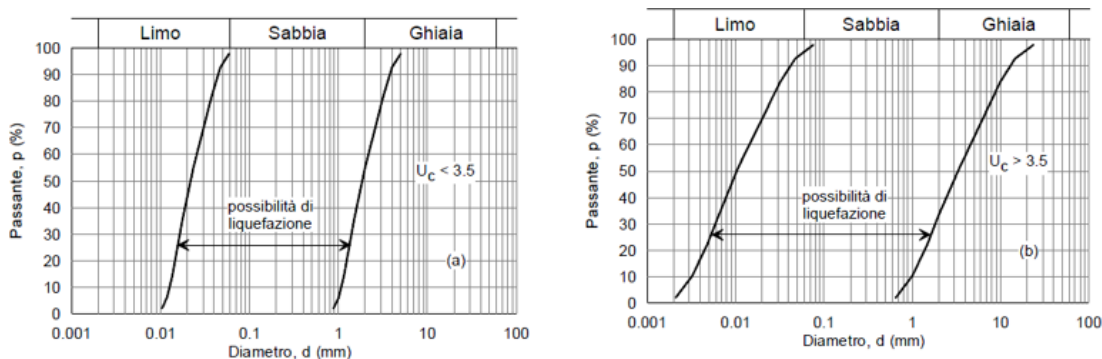
La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

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

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

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

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



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Alla luce di queste considerazioni, dall'analisi di tutti i dati presi in considerazione è emerso che i terreni che rappresentano l'area in esame sono riconducibili a depositi per lo più coesivi a granulometria argilloso limosa, limoso argillosa, fortemente ricche di inclusi litici e livelli rocciosi da moderatamente fratturati a fratturati, costituiti da calcareniti e calcilutiti in strati sottili e medi e rocce arenacee da tenere a parzialmente cementate.

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

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione è stata redatta su incarico della società Progetto Energia, la quale, dovendo procedere all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione e all'esercizio dell'impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica, denominato "Monte Comero", costituito da n° 6 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 30 MW, nel comune di Verghereto (FC), e relative opere di connessione ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC), collegato alla Rete di A.T. di E-Distribuzione (C.P. Quarto di Sarsina) con uno stallo a 132 kV, ubicata nel comune di Sarsina, mi ha incaricato di eseguire uno studio per valutare in via preliminare i caratteri geologici e geomorfologici dell'area nonché il proprio comportamento sismico e le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Nello specifico, il progetto prevede:

- n° 6 aerogeneratori con potenza di 5,0 MW, tipo tripala, con diametro massimo pari a 170 m ed altezza complessiva massima pari a 200 m;
- viabilità di accesso, con carreggiata di larghezza pari a 5 m;
- n° 6 piazzole di costruzione, necessarie per accogliere temporaneamente sia i componenti delle macchine che i mezzi necessari al sollevamento dei vari elementi, di dimensioni di circa 40x70 m. Tali piazzole, a valle del montaggio dell'aerogeneratore, vengono ridotte ad una superficie di 1.500 m², in aderenza alla fondazione, necessarie per le operazioni di manutenzione dell'impianto;
- una rete di elettrodotto interrato a 30 kV di collegamento interno fra gli aerogeneratori;
- una rete di elettrodotto interrato costituito da dorsali a 30 kV di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione Elettrica di Utenza 132/30 kV;
- una Stazione Elettrica di Utenza 132/30 kV completa delle relative apparecchiature ausiliarie (quadri, sistemi di controllo e protezione, trasformatore ausiliario);
- impianto di utenza per la connessione;
- impianto di rete per la connessione.

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nel Foglio n. 108 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, nel Foglio 266 (Mercato Saraceno) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 e nei quadranti 108 – III – NO (Verghereto) – 108 – IV – SO (Bagno di Romagna) e 108 – IV – SE (Sapigno) della carta IGM in scala 1:25.000

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di bacino dell'Emilia Romagna.

Dalla disamina della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio 266 (Mercato Saraceno) e dal rilevamento geologico eseguito in fase di sopralluogo, si evince che l'intero parco eolico e le relative opere connesse attraversano una serie di formazioni geologiche delle quali di seguito si descrivono le caratteristiche principali e a quali elementi del parco corrispondono:

Carta Geologica d'Italia 1:50.000 - Foglio 266 (Mercato Saraceno)

(SIL) – (Cretacio Inf. – Eocene Medio) – Formazione di Sillano – (Porzione di cavidotto – Aerogeneratori WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05).

La Formazione di Sillano è caratterizzata, nell'area in oggetto, da un'alternanza di strati di spessore da decimetrico a metrico di peliti grigie e calcari grigio-verdastri. Le peliti possono talvolta essere policrome, specialmente nella parte basale della formazione dove diventano predominanti rispetto ai calcari. Localmente sono presenti marne calcaree rosate. La porzione carbonatica è rappresentata da calcareniti torbiditiche a grana fine, calcilutiti in strati da medi a spessi e calcari marnosi con colori che vanno dal grigio al verdastro, ma che spesso possono assumere colore nocciola chiaro.

(a1q) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di frana senza indizi di evoluzione – (Porzione di cavidotto – Aerogeneratore WTG 03 – WTG 06).

Trattasi di depositi incoerenti a composizione eterogenea e granulometria eterometrica, con assetto caotico costituiti essenzialmente da litotipi stratificati, costituiti da alternanze di livelli litoidi con livelli pelitici o marnosi.

(Porzione di cavidotto)

(a1) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di frana in evoluzione

Trattasi di depositi incoerenti a composizione eterogenea e granulometria eterometrica, con assetto caotico costituiti essenzialmente da litotipi stratificati, costituiti da alternanze di livelli litoidi con livelli pelitici o marnosi.

(a) – (Pleistocene Superiore-Olocene) – Depositi di versante

I depositi di versante (a) sono costituiti da materiale incoerente, eterogeneo ed eterometrico, costituiti da depositi angolosi e sub-angolosi e possono presentare clasti immersi in matrice (generalmente sabbioso-limosa) o a diretto contatto tra loro.

(AVR) – (Cretacico inferiore – Eocene medio) – Argille varicolori

Le argille varicolori sono costituite da argilliti policrome, variabili da un colore rosso, a verde, a grigio scuro, talora ocraceo con intercalazioni di livelli discontinui di calcareniti, calcilutiti biancastre e grigie o verdastre, areniti fini brune, siltiti di colore marrone scuro-rossastro e marne grigio-avana.

(COOc) – (Eocene medio-superiore) – Formazione di Monte Comero – Litofacies arenaceo-calcareo-marnosa

Arenarie quarzoso-feldspatiche gradate, conglomeratiche alla base e talora sino a metà strato; strati da molto spessi a medi e sottili; il colore è grigio-beige, giallastro se alterate, con alla base strati arenacei e calcareo-marnosi biancastri o gialli in spessori da medi a sottili.

(MVS) – (Eocene medio-superiore) – Complesso della Valle del Savio

Argilliti, talora marnose, grigie e varicolorate, foliate, litologicamente assai simili alle Argille Varicolori liguri e da brecce a matrice argillosa varicolorata inglobante inclusi litologicamente eterogenei (calcareniti, calcilutiti, siltiti, diaspri, marne e arenarie).

(FMA9) – (Miocene) – Formazione Marnoso-Arenacea – Membro della Civitella

Tale Formazione è costituita da ripetute sequenze torbiditiche di strati bipartiti arenaria-pelite, con intercalazioni di emipelagiti marnose. Essa rappresenta il riempimento dell'avanfossa miocenica del Dominio umbro-marchigiano-romagnolo.

È costituito da torbiditi pelitico-arenacee e rare emipelagiti con rapporto arenaria/pelite generalmente compreso tra 1/2 e 1/5 in cui si intercalano intervalli sia più pelitici, sia più arenacei.

(AES) – (Olocene) – Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore – Unità di Modena

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale con depositi fluviali in evoluzione.

(Porzione di cavidotto – S.E. di Utenza – C.P. di Quarto di Sarsina)

(AES) – (Olocene) – Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore – Unità di Modena

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale con depositi fluviali in evoluzione.

Dal punto di vista geomorfologico, il principale elemento che contraddistingue il sito in esame è senza dubbio rappresentato dalla superficie di sovrapposizione a basso angolo che mette a contatto la coltre alloctona ligure ed epiligure o Coltre della Val Marecchia (CVM), sui depositi della successione umbro-marchigiano-romagnola nella parte meridionale del foglio e sulla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quella settentrionale.

L'area in esame ove sorgeranno gli aerogeneratori si contraddistingue per il carattere marcatamente montuoso, con boschi e foreste, pareti rocciose verticali, i cui maggiori contrasti di acclività si osservano dove i litotipi resistenti e/o cementati si giustappongono ai mélanges argillitici.

Gli aerogeneratori verranno realizzati nel territorio comunale di Verghereto (FC), lungo un allineamento orientato in direzione nord ovest che collega Monte Castelveccchio (1254 m s.l.m.) a Monte Comero (1372 m s.l.m.).

Dall'esame del rilevamento geomorfologico eseguito sono state valutate attentamente le caratteristiche morfoevolutive caratteristiche di ciascuna area che ospiterà i futuri aerogeneratori.

L'aerogeneratore WTG 01 si colloca ad una quota di 1179 m s.l.m. lungo un crinale roccioso che si sviluppa in direzione nord est verso il Fosso del Prete.

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che l'aerogeneratore in esame si colloca in prossimità di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo che coinvolgono l'intero versante a sud dell'area in esame.

Gli aerogeneratori WTG02 e WTG 03 sono ubicati nella porzione settentrionale del versante "I Prati", il quale si caratterizza per la presenza di litologie per lo più coesive, costituite da argille limose e argilliti tettonizzate, dissecate da una serie di incisioni torrentizie che defluiscono in direzione sud ovest alimentando il "Fosso del Pianello".

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che l'aerogeneratore WTG 02 è ubicato a margine di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo, caratterizzata da una duplice combinazione di fenomeni come gli scivolamenti accompagnati da colamenti di depositi coesivi e/o detritici.

Mentre l'aerogeneratore WTG 03 è collocato all'interno di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "colamento", allo stato quiescente.

L'aerogeneratore WTG 04 è ubicato lungo il versante Nord del rilievo "Poggio Biancarda", ad una quota di circa 1197,50 m sul livello del mare; tale versante si contraddistingue per le pendenze accentuate e per la presenza di un'area caratterizzata da movimenti gravitativi di tipo "colamento" allo stato attivo, in prossimità dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore.

L'aerogeneratore WTG 05 è ubicato nella parte terminale del versante sud orientale del rilievo "Poggio Biancarda" ad una quota di 1179,50 m s.l.m.

L'area che ospiterà il suddetto aerogeneratore attualmente si presenta stabile e si caratterizza per le pendenze accentuate e la presenza, a poca distanza, di un'area interessata da movimenti gravitativi per scivolamento, allo stato quiescente, che interessa i depositi coesivi delle argille varicolori.

Infine l'aerogeneratore WTG 06 è ubicato lungo un versante con pendenze dell'ordine dei 8-9° e si colloca ad una quota di 1170,50 m s.l.m. in prossimità di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo complesso, allo stato quiescente, costituiti da scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detrito.

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso si sviluppa a partire dalla stazione elettrica di Quarto Sarsina (FC), procedendo in direzione sud attraversando il fiume Savio e la diga di Quarto, percorrendo forme tra le più svariate condizionate sia dall'assetto geologico-strutturale, sia dal grado di erodibilità dei litotipi affioranti.

In particolare, il tratto di cavidotto compreso tra le località Versaiola, Donicilio e Alfero, si caratterizza per la notevole pendenza dei versanti e per una morfologia marcata da erosioni torrentizie ad andamento all'incirca rettilineo a breve sviluppo lineare, di cui tipica forma di erosione individuabile è quella dei calanchi.

Successivamente il cavidotto si imposta lungo il crinale del Poggio delle Zoccole, in destra orografica del torrente Alferello, per poi attraversarlo in direzione sud ovest sino a congiungersi con gli aerogeneratori in progetto.

Dalla consultazione della Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, si evince che il cavidotto di progetto attraversa una serie di aree cartografate come zone interessate da depositi di frana attiva di tipo complesso, depositi di frana quiescente per movimenti di scivolamento e colamento, depositi di frana attiva per fenomeni di colamento e scivolamento e depositi di frana di tipo complesso allo stato quiescente.

Dal punto di vista idrogeologico, i complessi idrogeologici caratteristici dell'area di sedime che ospiterà gli aerogeneratori in esame sono quelli rappresentati dal "complesso delle argille varicolori", con intercalazioni di calcari grigio-verdastri presenti sotto forma di strati e banchi e dal "complesso flyscioide" costituito da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti.

Entrambi i complessi sono caratterizzati da una permeabilità medio bassa e impediscono la formazione di un deflusso sotterraneo unitario, rendendo generalmente possibile solo una modesta circolazione idrica, prevalentemente nella coltre di alterazione superficiale.

Solo in alcuni intervalli, caratterizzati dalla presenza di termini litoidi, si può manifestare una circolazione relativamente più profonda e cospicua.

Dalla distribuzione areale e dalla notevole estensione territoriale delle opere in progetto è emerso che il futuro parco eolico attraversa i territori di competenza dell'autorità di Bacino dell'Emilia Romagna.

Le aree a pericolosità geomorfologiche individuate dal PAI sono suddivise, in funzione dei differenti gradi di rischio in:

- *Aree a rischio moderato – R1*
- *Aree a rischio medio R2*
- *Aree a rischio alto R3*
- *Aree a rischio molto elevato R4*

Di seguito si riporta una tabella esplicativa riportante le tipologie di rischio dell'autorità di Bacino competente, che attraversano le opere in progetto.

AUTORITA' DI BACINO DELL'EMILIA ROMAGNA	
TIPOLOGIA DI OPERA DA REALIZZARE	TIPOLOGIA DI RISCHIO
Aerogeneratori WTG 01-02-03-04- porzione di cavidotto	<i>Rischio medio R2</i>
Porzione di cavidotto	<i>Rischio moderato R1</i>

Porzione di cavidotto

Rischio molto elevato R4

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state eseguite n. 2 indagini sismiche di superficie di tipo Masw, dalle quali emerge che le aree di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori appartengono alla categoria sismica C.

Per la caratterizzazione geotecnica delle aree che ospiteranno i futuri aerogeneratori, è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche:

- N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi a profondità variabili da 4.50 a 8.10 m dal piano campagna.

Dall'analisi delle conoscenze dello scrivente, dal modello geologico e dalle indagini geotecniche in sito opportunamente eseguite, unitamente alle indagini reperite nelle immediate vicinanze, è stato possibile definire il modello geotecnico del sottosuolo.

Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici medi rappresentativi.

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO									
Aerogeneratori WTG 01-WTG02-WTG03-WTG04-WTG05-WTG06									
Profondità dal piano campagna. (m)		Descrizione litologica (Formazione)	Numero di Colpi N _{SPT}	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo	Angolo di attrito Picco	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo edometrico
Da	a		(n.)	g/cm ³	g/cm ³	(°)		Kg/cm ²	Kg/cm ²
0.00	3.50	Argille limose alterate, plastiche e poco consistenti.	2	1.80	1.95	26	0.02	0.25	15
3.50	6.50	Argille limose con presenza di inclusi litici eterometrici di natura calcarea, arenacea e marnosa. Materiale moderatamente consistente	10	1.90	2.05	28	0.08	1.00	50
6.50	20.00	Argille limose ricche di inclusi litici eterometrici e con intercalazioni di arenarie e calcareniti moderatamente fratturate	40	2.00	2.10	30	0.12	3.00	80
Vs eq: 310 m/sec (M1) – 266 m/s (M2) Categoria di suolo: C. Categoria topografica: T1									

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

In particolare, le aree di sedime che ospiteranno gli aerogeneratori WTG 01 e WTG 02 attualmente si presentano stabili ma si collocano a margine di aree classificate dalla Banca dati geologica della Regione Emilia Romagna, in scala 1:10.000 – Categoria Frane, Depositi di Versante e Depositi alluvionali, come aree interessate da movimenti gravitativi di tipo "complesso" allo stato attivo, caratterizzati da una duplice combinazione di fenomeni come gli scivolamenti accompagnati da colamenti di depositi coesivi e/o detritici.

Mentre l'aerogeneratore WTG 03 è collocato all'interno di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo "colamento", con stato di attività definito "quiescente".

L'aerogeneratore WTG 04 è ubicato lungo un versante che si contraddistingue per le pendenze accentuate e per la presenza di un'area caratterizzata da movimenti gravitativi di tipo "colamento" allo stato attivo, presente nelle vicinanze dell'area di sedime che ospiterà il suddetto aerogeneratore, mentre l'area che ospiterà l'aerogeneratore WTG 05 attualmente si presenta stabile e si caratterizza per le pendenze accentuate e per la presenza nelle vicinanze di un'area interessata da movimenti gravitativi per scivolamento allo stato quiescente, che interessa i depositi coesivi delle argille varicolori.

Infine l'aerogeneratore WTG 06 è ubicato nelle vicinanze di un'area interessata da movimenti gravitativi di tipo complesso, allo stato quiescente, costituiti da scivolamenti accompagnati da colamenti di fango o detrito.

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso si sviluppa a partire dalla stazione elettrica di Quarto Sarsina (FC), procedendo in direzione sud attraversando il fiume Savio e la diga di Quarto, percorrendo forme tra le più svariate condizionate sia dall'assetto geologico-strutturale, sia dal grado di erodibilità dei litotipi affioranti.

In particolare, il tratto di cavidotto compreso tra le località Versaiola, Donicilio e Alfero, si caratterizza per la notevole pendenza dei versanti e per una morfologia marcata da erosioni torrentizie ad andamento all'incirca rettilineo a breve sviluppo lineare, di cui tipica forma di erosione individuabile è quella dei calanchi.

Pertanto, alla luce di quanto esposto le opere in progetto si inseriscono in un contesto geomorfologico in continua evoluzione caratterizzato da forme di dissesto molteplici che in alcuni casi lambiscono e si sviluppano lungo le aree a margine delle zone in studio, in altri casi invece coinvolgono le aree in esame manifestandosi sotto forma di movimenti gravitativi attualmente allo stato quiescente e in taluni casi allo stato attivo.

Pertanto, in fase esecutiva dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche puntuali, con lo scopo di valutare e analizzare attentamente le caratteristiche geotecniche del caso.

Per ciò che riguarda la possibilità o meno che i terreni investigati possano essere interessati da fenomeni di liquefazione in caso di evento sismico, i terreni che rappresentano l'area in esame sono riconducibili a depositi per lo più coesivi a granulometria argilloso limosa, limoso argillosa, fortemente ricche di inclusi litici e livelli rocciosi da moderatamente fratturati a fratturati, costituiti da calcareniti e calcilutiti in strati sottili e medi e rocce arenacee da tenere a parzialmente cementate.

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

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

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

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

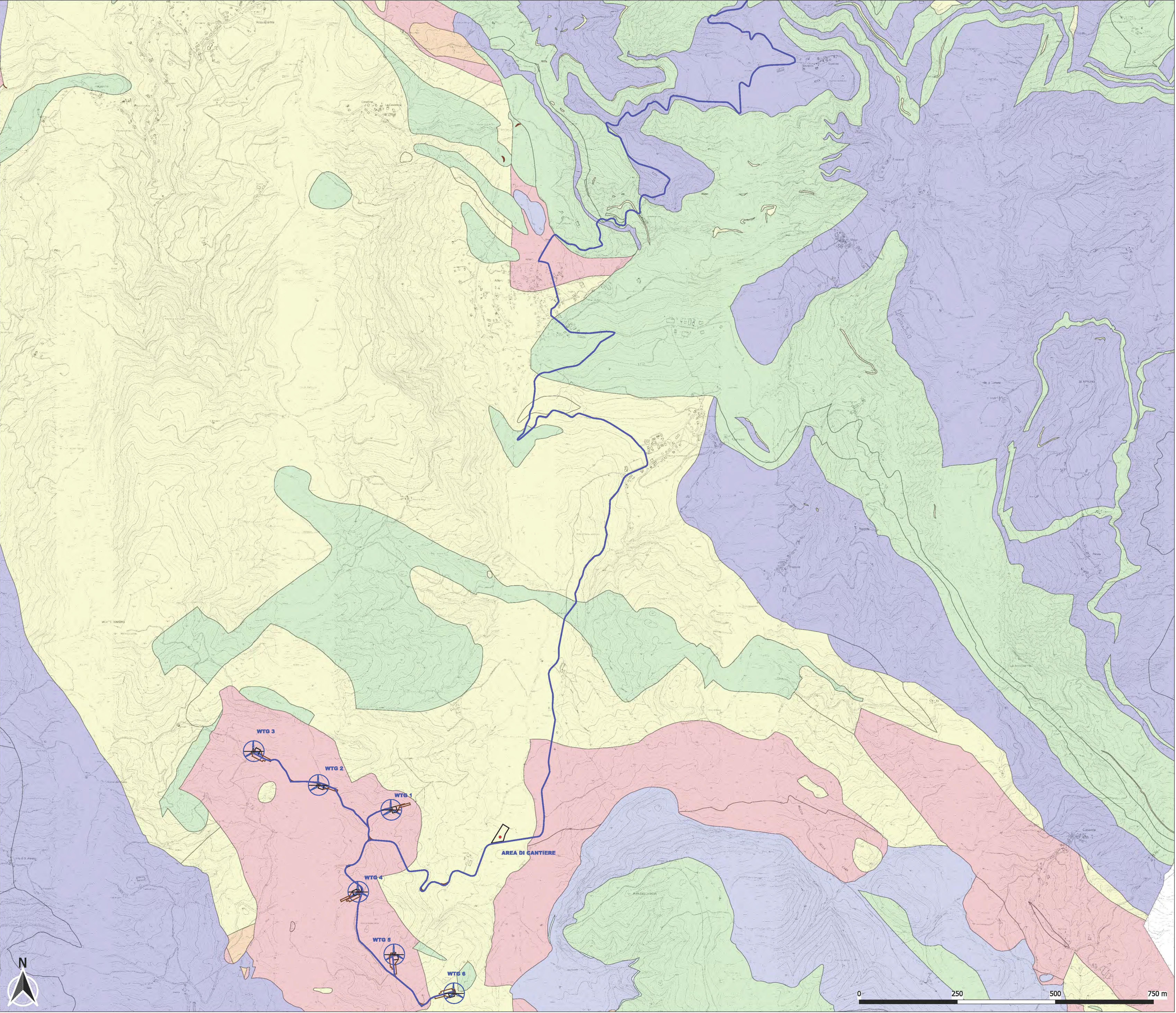
Castel Morrone, 07/12/2022


 Il Geologo
Dr. Antonio Petriccione



[illegible]

STRALCIO CARTA GEOLOGICA GEOPORTALE EMILIA ROMAGNA CON INDIVIDUAZIONE DELL'AREA IN ESAME
SCALA 1:10.000



Geo.Amb.
Studio di geologia applicata

REGIONE EMILIA ROMAGNA
CARTA GEOLOGICA GEOPORTALE EMILIA ROMAGNA
CON INDIVIDUAZIONE PARCO EOLOICO E OPERE CONNESSE
SCALA 1:10.000
TAVOLA 3A

COMMITTENTE: FRIEL S.p.A.

OGGETTO: Impianto Eolico denominato "Monte Comero"
ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per
un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto
(FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)

LEGENDA

Unità geologiche

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto
tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto $L/P < 1/3$.

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto $L/P > 3$.

Argille a struttura primaria caotica (debris flow e mud flow) - unità costituite in prevalenza
da argille con a luoghi subordinati inclusi lapidei che determinano una tessitura clastica,
dalla scala dell'affioramento (tipo blocchi in matrice simile a

Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille
che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate
dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose")

Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate,
con eventuale rara presenza di livelli arenitici

Materiale lapideo stratificato (in cui la stratificazione non influenza in maniera significativa
le caratteristiche di resistenza dell'ammasso)

 WTG sc: Aerogeneratore

 Cavidotto MT

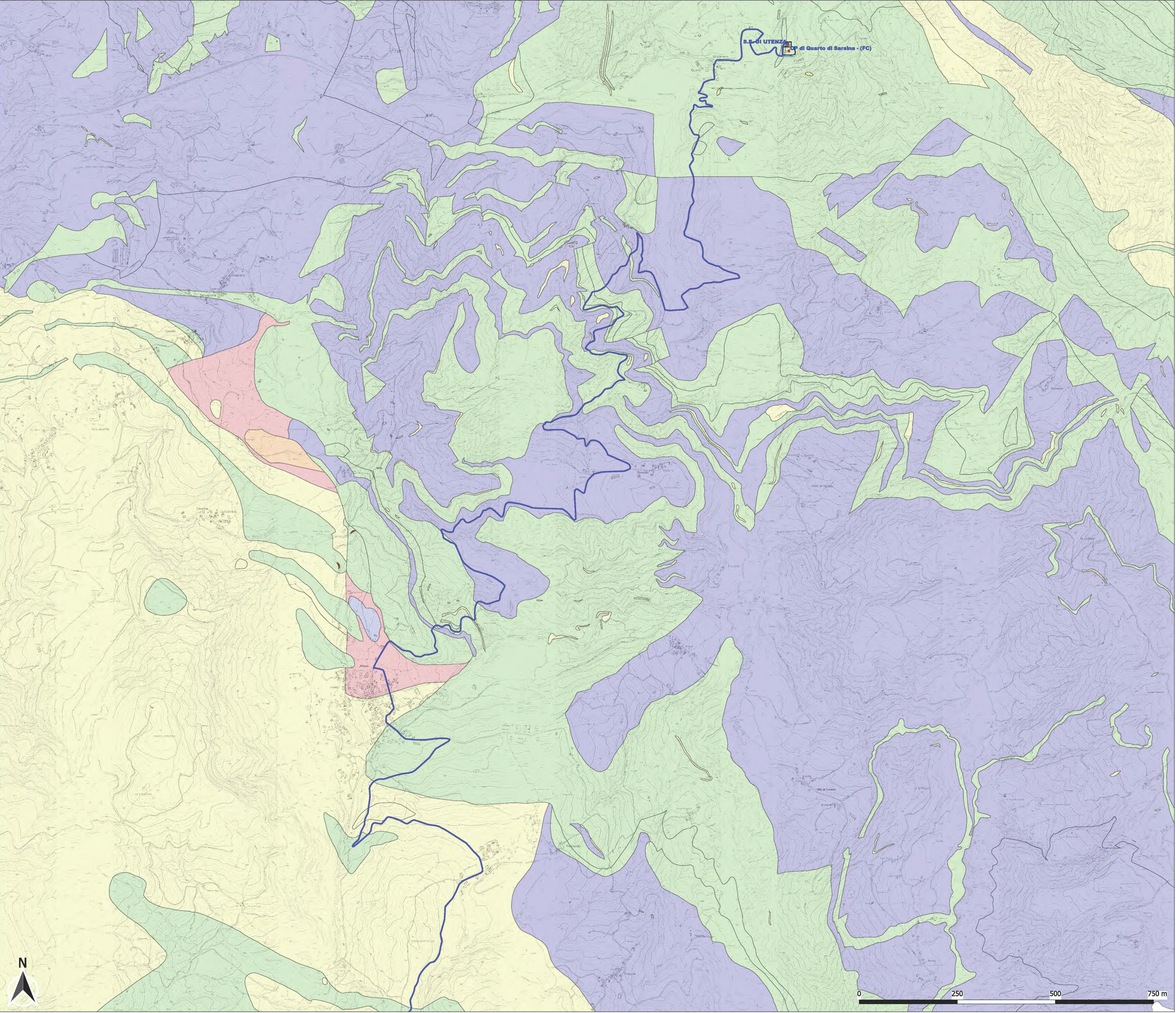
 Cavidotto AT

IL GEOLOGO
Dott. Antonio Petriccione



SCALA 1:10.000

STRALCIO CARTA GEOLOGICA GEOPORTALE EMILIA ROMAGNA CON INDIVIDUAZIONE DELL'AREA IN ESAME
SCALA 1:10.000



Geo.Amb.
Studio di geologia applicata

REGIONE EMILIA ROMAGNA
CARTA GEOLOGICA GEOPORTALE EMILIA ROMAGNA
CON INDIVIDUAZIONE PARCO EOLOICO E OPERE CONNESSE
SCALA 1:10.000
TAVOLA 3B

COMMITTENTE: FRIEL S.p.A.

OGGETTO: Impianto Eolico denominato "Monte Comero"
ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per
un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto
(FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)

LEGENDA

Unità geologiche

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutti ecc.) e livelli pelitici con rapporto
tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutti ecc.) e livelli pelitici con livelli pelitici prevalenti: rapporto $L/P < 1/3$.

Ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da alternanze tra livelli lapidei
(Es: arenarie cementate, calcareniti, calcilutti ecc.) e livelli pelitici con livelli lapidei prevalenti: rapporto $L/P > 3$.

Argille intensamente tettonizzate, argilliti - unità costituite in prevalenza da argille
che a causa della loro storia tettonica risultano intensamente piegate e fratturate
dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione ("argille scagliose")

Argille, argille marnose e argille siltose strutturalmente ordinate, stratificate,
con eventuale rara presenza di livelli arenitici

Materiale lapideo stratificato (in cui la stratificazione non influenza in maniera significativa
le caratteristiche di resistenza dell'ammasso)

WTG sc: Aerogeneratore

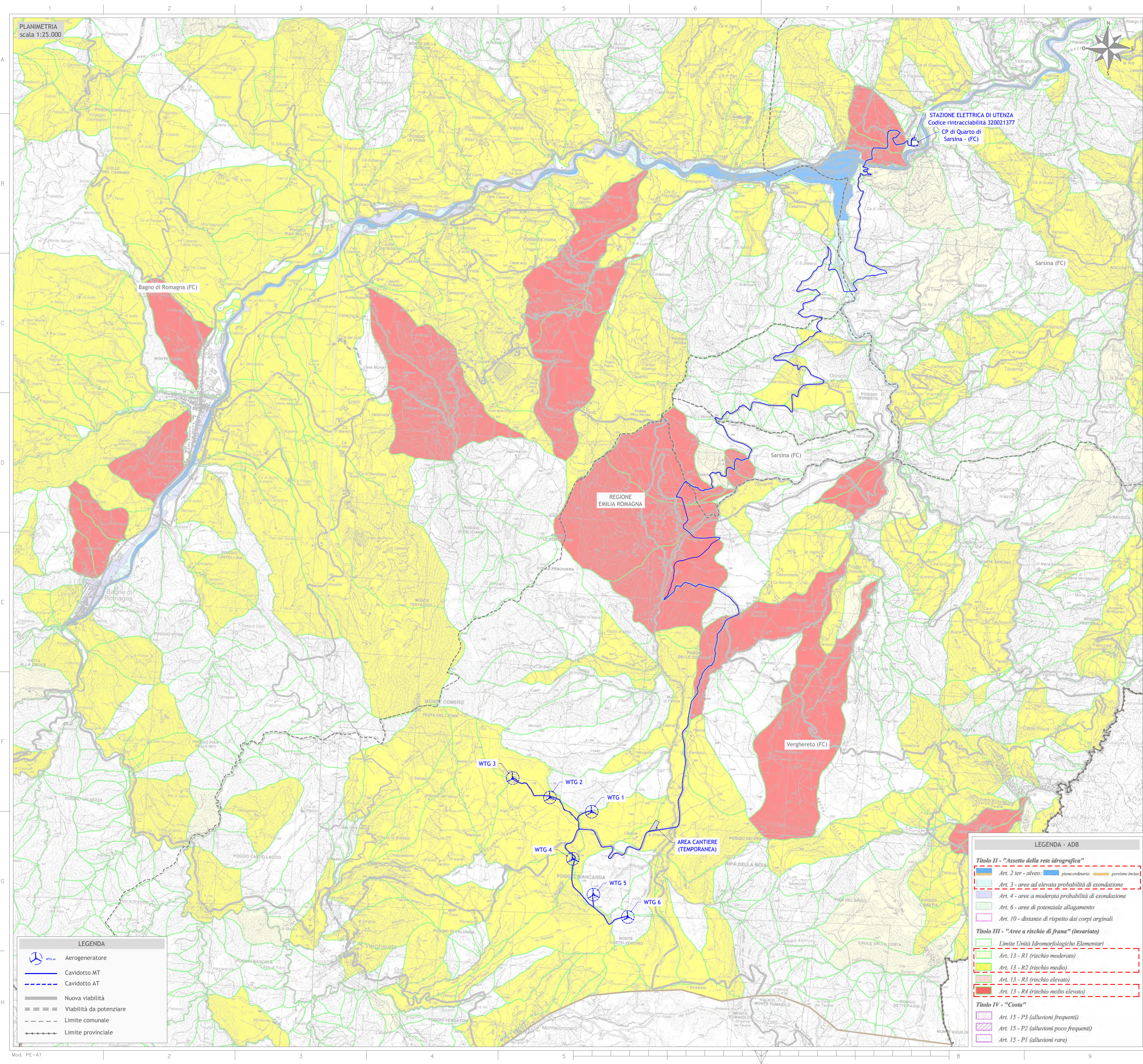
Cavidotto MT

Cavidotto AT

IL GEOLOGO
Dott. Antonio Petriccione



SCALA 1:10.000





Regione Emilia - Romagna
Provincia di Forlì - Cesena
Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina



Impianto Eolico denominato "Monte Comero" ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)

Titolo

SCREENING DEI VINCOLI - AUTORITA' DI BACINO

Scala	Formato Stampa	Rev.
1:25.000	A1	
	Foglio	0 0
	1 di 1	

Proponente

FRI-EL

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

PROGETTO DEFINITIVO

Geo.Amb.
Studio di geologia applicata
Dott. Antonio Petriccione

Dott. Geol. Antonio Petriccione
Via delle Costare, 15 - 81020
Castel Morrone Caserta
Tel. e Fax 0823399115/961 3483850177

Il Geologo

Dott. Antonio Petriccione
Geologo
Petriccione
n. 895
REGIONE CAMPANIA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE




PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

COMMITTENTE: FRIEL S.p.A.



OGGETTO: Impianto Eolico denominato "Monte Comero" ubicato nel comune di Verghereto (FC) costituito da 6 (sei) aerogeneratori di potenza nominale 5 MW, per un totale di 30 MW, con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comuni di Verghereto (FC), Bagno di Romagna (FC) e Sarsina (FC)

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
AREA AEROGENERATORI

LEGENDA

-  WTG xx Aerogeneratore
-  Cavidotto MT
-  Cavidotto AT

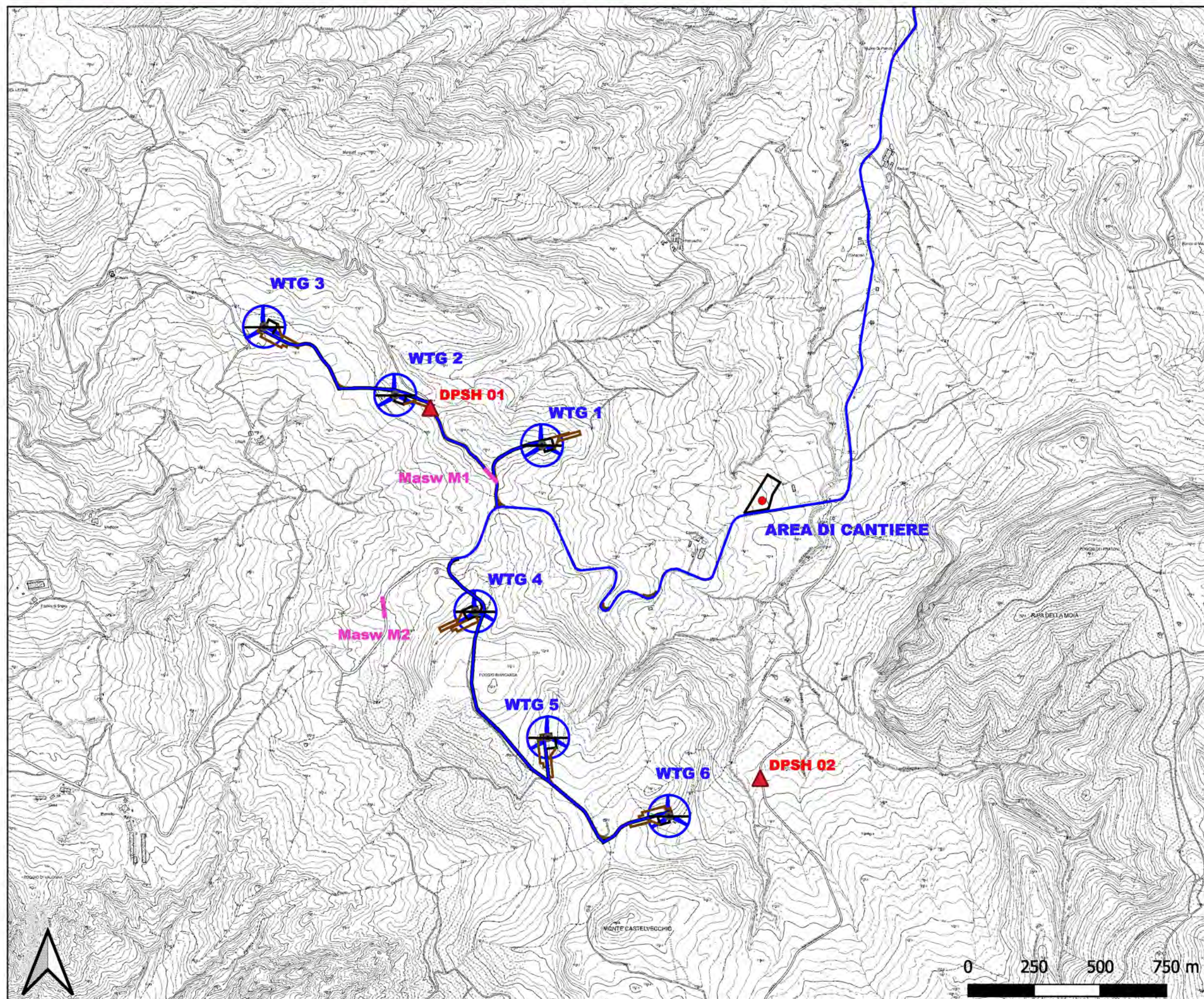
Indagini geognostiche eseguite

-  Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH
-  Indagine sismica Masw



IL GEOLOGO
Dott. Antonio Petriccione

Scala 1:15.000



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in situ di cui all'art. 59 DPR. 380/01

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: Friel S.p.A.

Id Int. 382 / 22

Cantiere: Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)

Coordinate lat. e long.: N43.812500° / E12.039000° Data esecuz. prova: 29/11/2022

Prova (n): **DPSH 01**

Certificato n° 0801/22

del 07/12/2022

VALORI MISURATI IN SITU CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)
0.30	3								
0.60	14								
0.90	11								
1.20	6								
1.50	6								
1.80	5								
2.10	5								
2.40	6								
2.70	5								
3.00	8								
3.30	13								
3.60	27								
3.90	16								
4.20	27								
4.50	60								

IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. 

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Giuseppe Friel



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: Friel S.p.A.

Id Int. 382 / 22

Cantiere: Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)

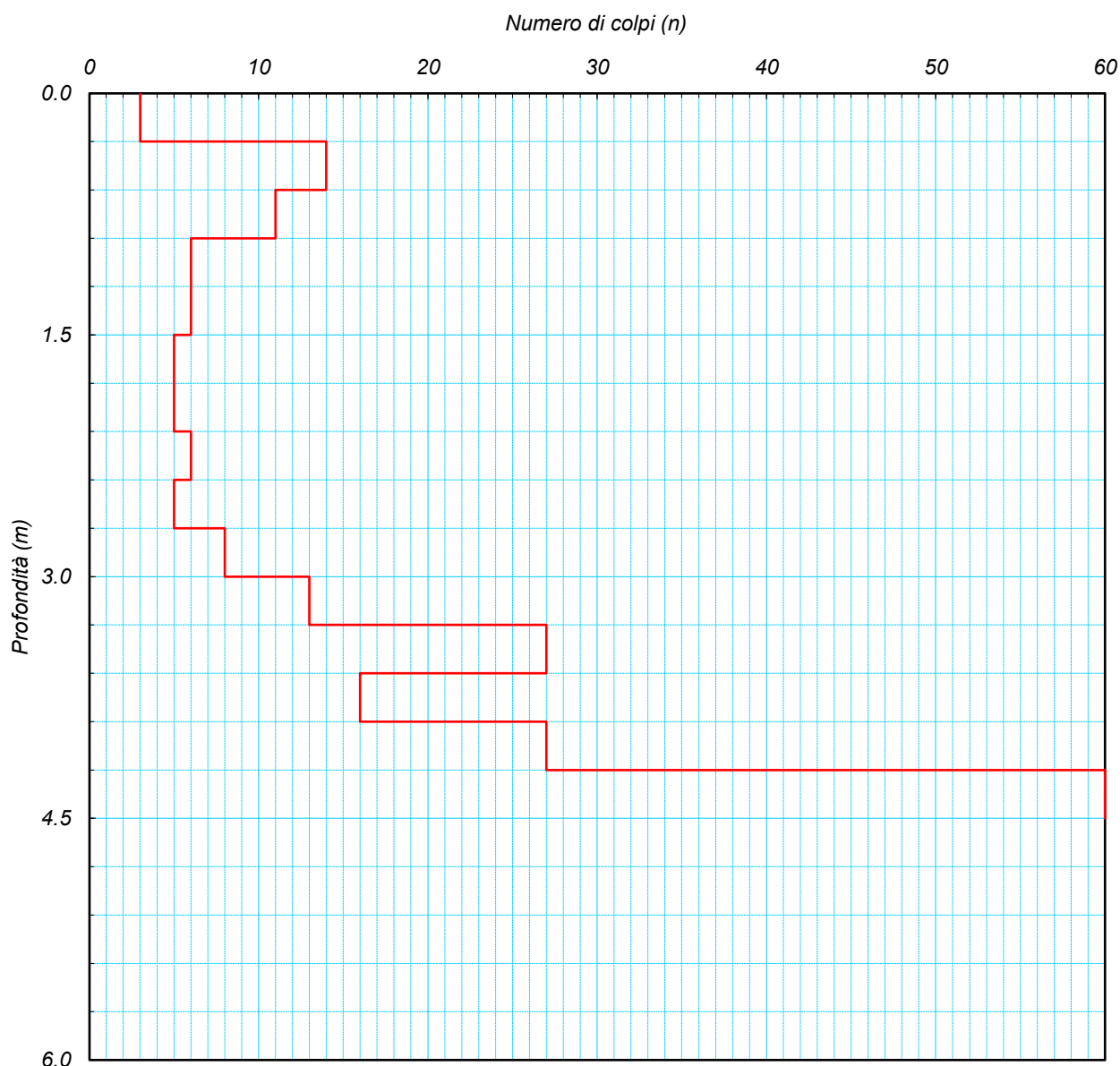
Coordinate lat. e long.: N43.812500° / E12.039000° Data esecuz. prova: 29/11/2022

Prova (n): DPSH 01

Certificato n° 0801/22

del 07/12/2022

GRAFICO NUMERO DI COLPI



IL RESPONSABILE DI SITO

Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Giuseppe Riello

Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in situ di cui all'art. 59 DPR. 380/01

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: Friel S.p.A.

Id Int. 382 / 22

Cantiere: Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)

Coordinate lat. e long.: N43.800457° / E12.054978° Data esecuz. prova: 29/11/2022

Prova (n): **DPSH 02**

Certificato n° **0802/22**

del 07/12/2022

VALORI MISURATI IN SITU CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)
0.30	1								
0.60	1								
0.90	2								
1.20	1								
1.50	2								
1.80	2								
2.10	2								
2.40	2								
2.70	1								
3.00	1								
3.30	2								
3.60	4								
3.90	5								
4.20	6								
4.50	7								
4.80	9								
5.10	14								
5.40	20								
5.70	11								
6.00	20								
6.30	15								
6.60	14								
6.90	23								
7.20	27								
7.50	36								
7.80	43								
8.10	60								

IL RESPONSABILE DI SITO
Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL RESPONSABILE DI SITO

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Giuseppe Rieffo



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: Friel S.p.A.

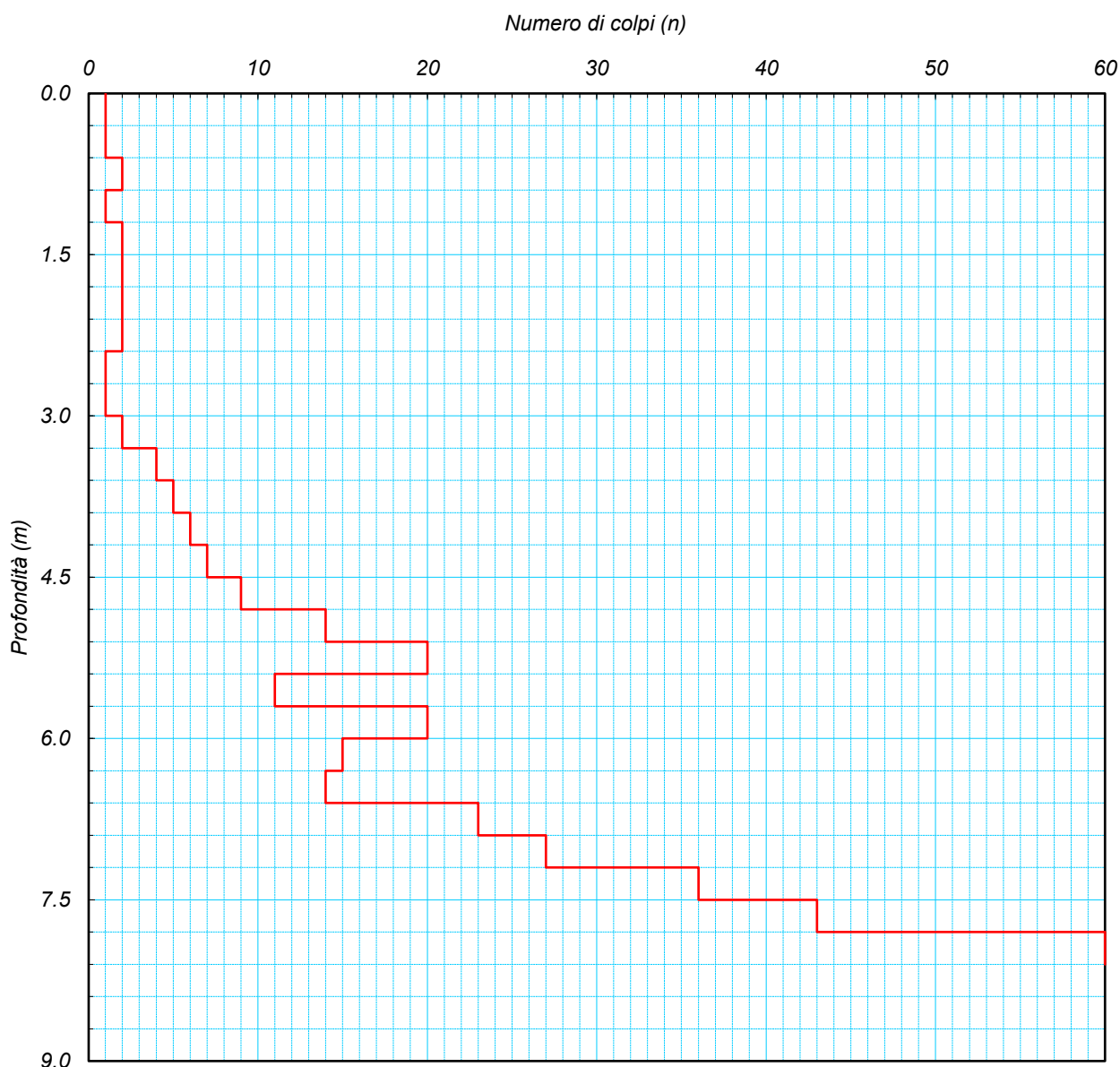
Id Int. 382 / 22

Cantiere: Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)

Coordinate lat. e long.: N43.800457° / E12.054978° Data esecuz. prova: 29/11/2022

Prova (n): DPSH 02 Certificato n° **0802/22** del 07/12/2022

GRAFICO NUMERO DI COLPI



IL RESPONSABILE DEL SITO
IL RESPONSABILE DI SITO
Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Geol. Giuseppe Riello

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: **Friel S.p.A.**

Protocollo n.: **382/22**

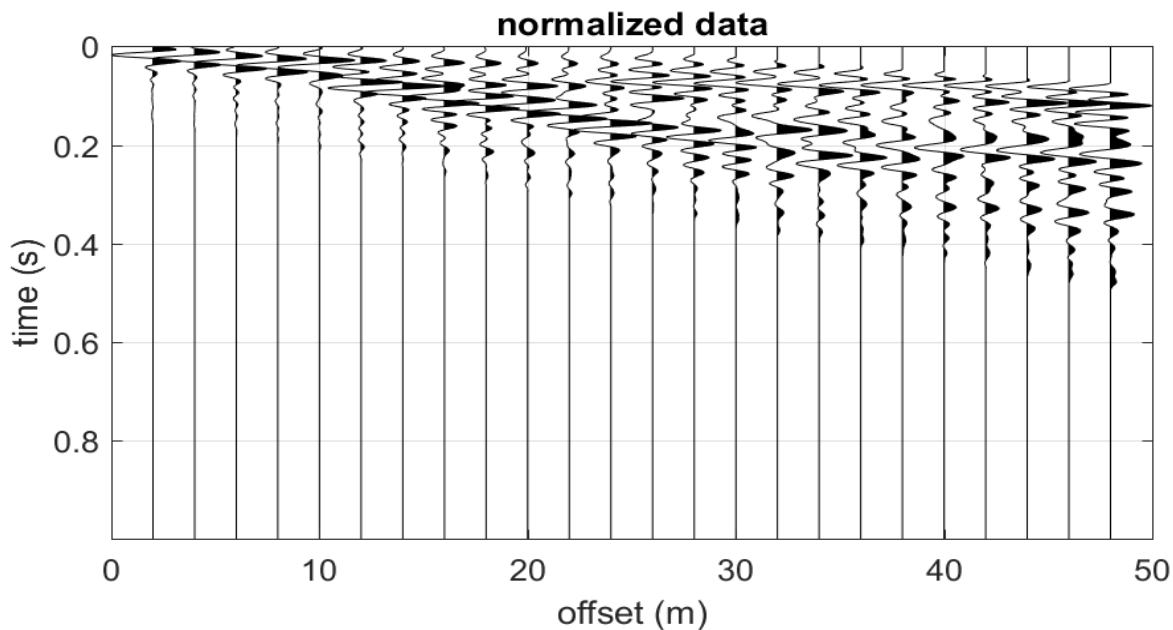
Cantiere: **Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)**

Data esecuzione prova: **29/11/2022**

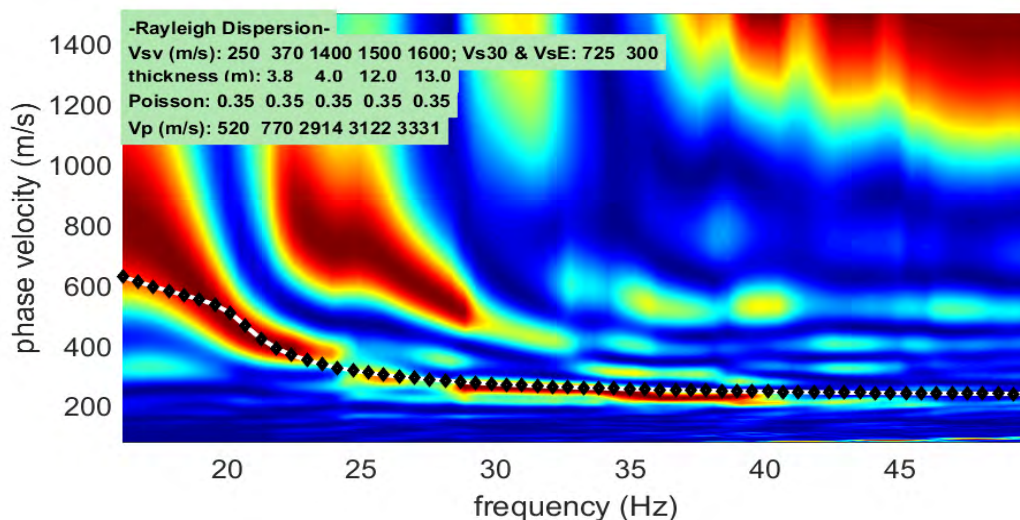
Prova MASW: M1

Data emissione certificato: **07/12/2022**

Registrazione di campagna delle tracce



Analisi delle frequenze e curva di dispersione calcolata dal modello del terreno



IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

INGE s.r.l.

Via Taverna Vecchia, 19

81020 Castel Morrone (CE)

Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: **Friel S.p.A.**

Protocollo n.:

382/22Cantiere: **Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)**

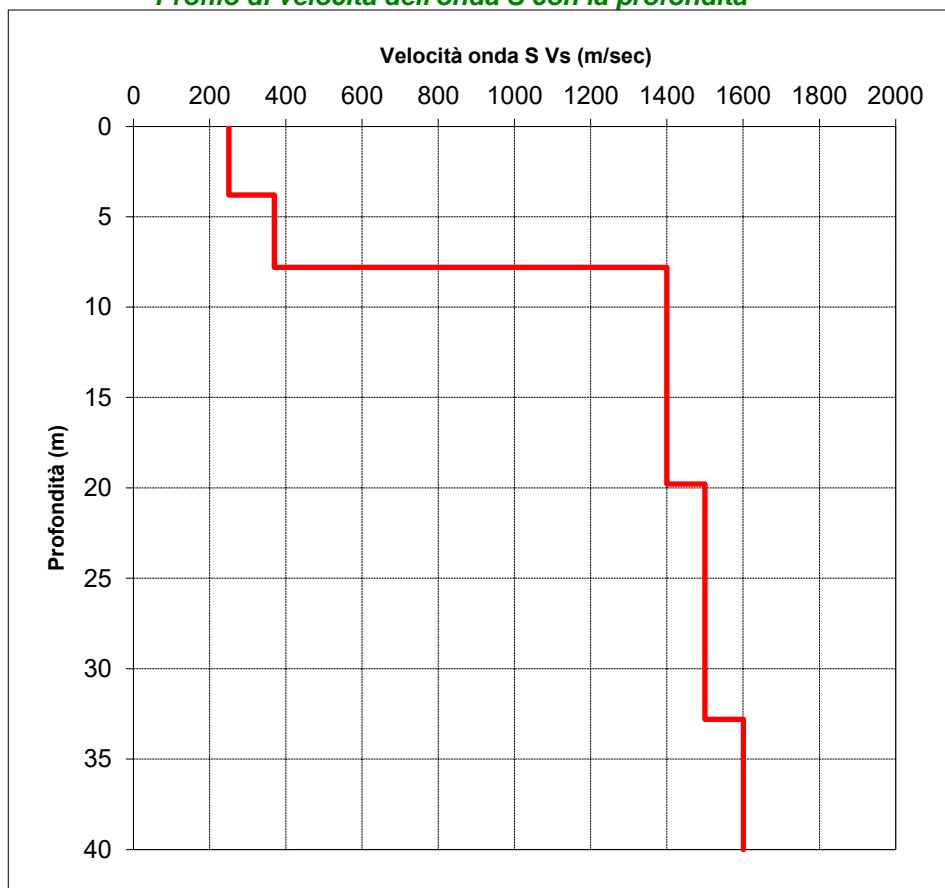
Data esecuzione prova:

29/11/2022**Prova MASW: M1**

Data emissione certificato:

07/12/2022

Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



Calcolo del Vs,eq

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	3.80	250	0.0152
3.80	7.80	370	0.0108
7.80	19.80	1400	0.0086
19.80	32.80	1500	0.0087
32.80	40.00	1600	0.0045

VALORE DI Vs,eq CALCOLATO (m/s)

310

Categoria di sottosuolo

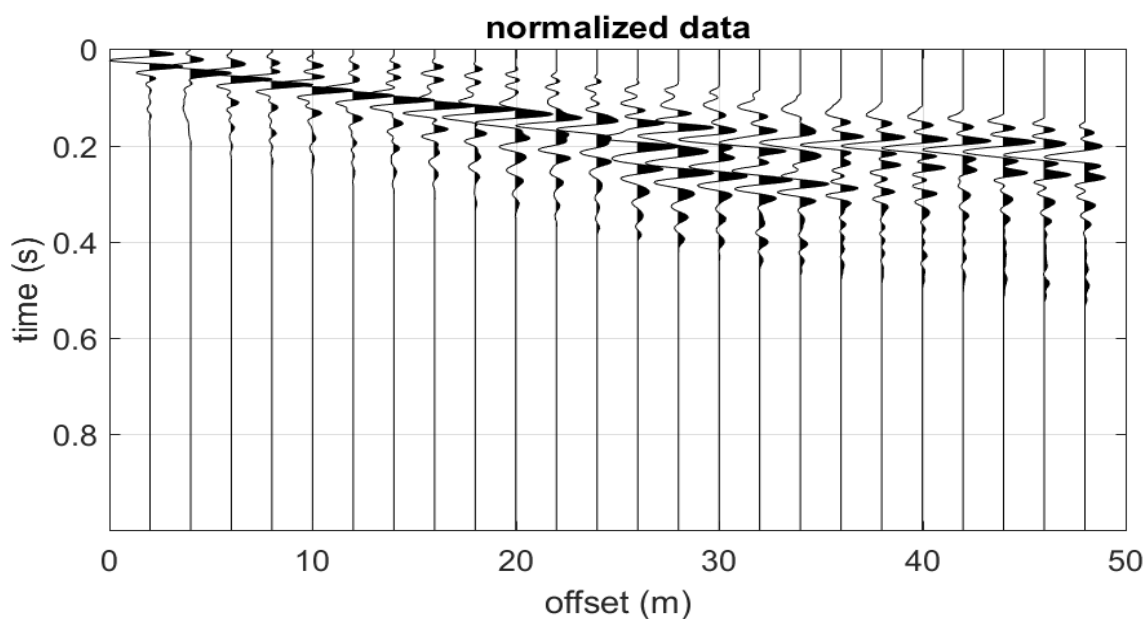
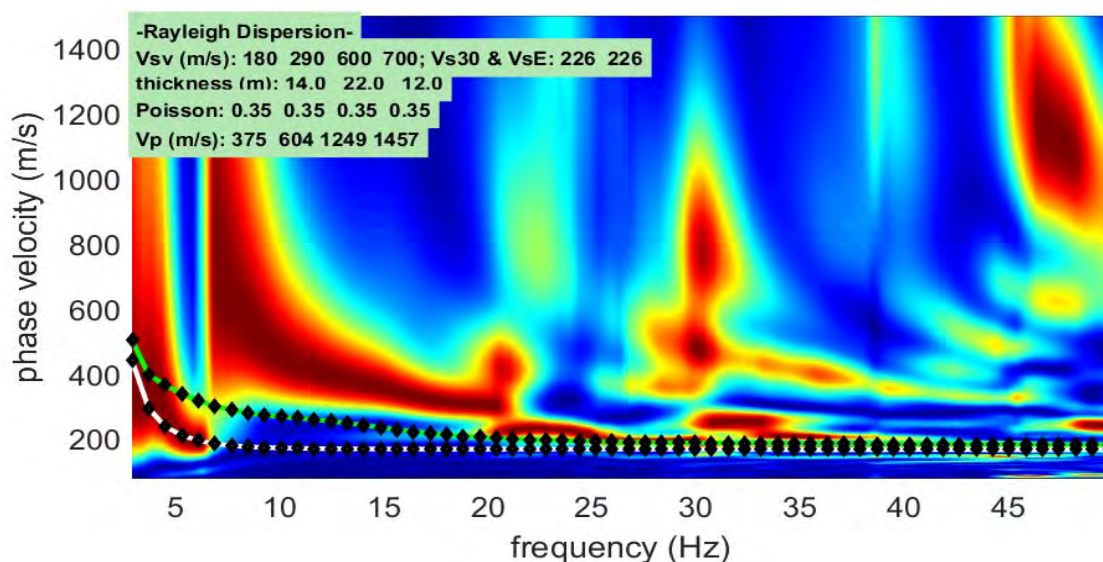
C

IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

INGE s.r.l.Via Taverna Vecchia, 19
81020 Castel Morrone (CE)

Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASWCommittente: **Friel S.p.A.**Protocollo n.: **382/22**Cantiere: **Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)**Data esecuzione prova: **29/11/2022****Prova MASW: M2**Data emissione certificato: **07/12/2022****Registrazione di campagna delle tracce****Analisi delle frequenze e curva di dispersione calcolata dal modello del terreno****IL RESPONSABILE DEL SETTORE**

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

**INGE s.r.l.**

Via Taverna Vecchia, 19

81020 Castel Morrone (CE)

Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921

PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: **Friel S.p.A.**

Protocollo n.:

382/22Cantiere: **Impianto Eolico "Monte Comero" - Comuni di Verghereto, Bagno di Romagna e Sarsina (FC)**

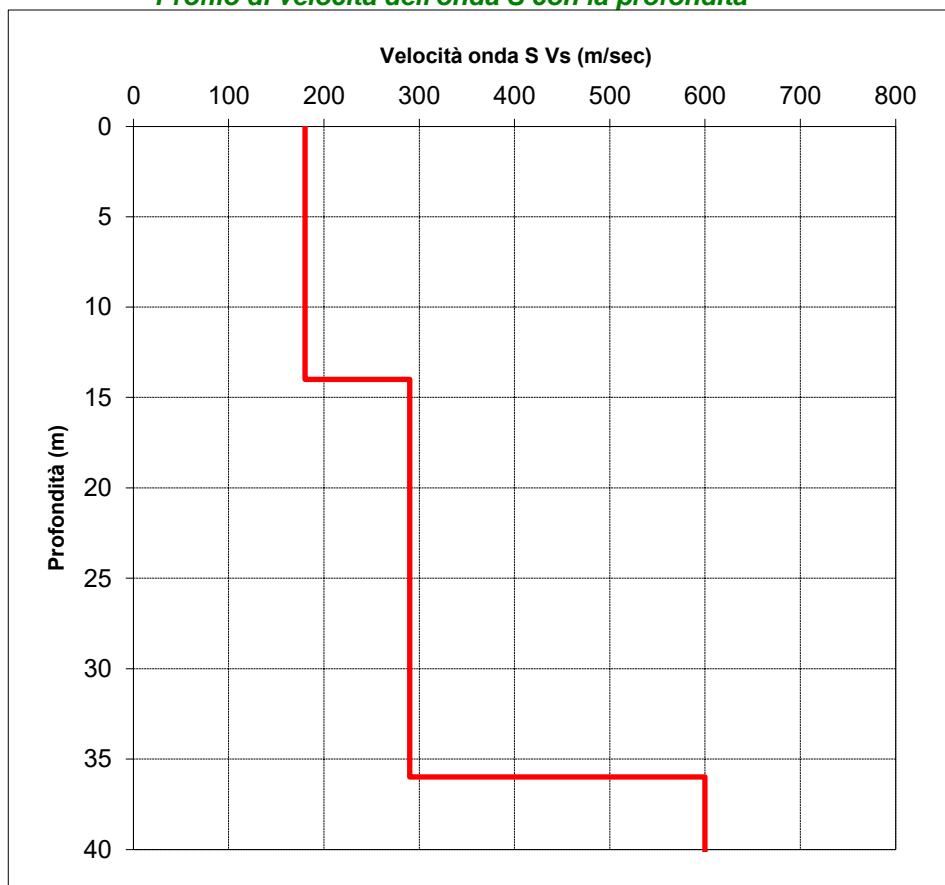
Data esecuzione prova:

29/11/2022**Prova MASW: M2**

Data emissione certificato:

07/12/2022

Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



Calcolo del Vs,eq

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	14.00	180	0.0778
14.00	36.00	290	0.0759
36.00	48.00	600	0.0200
48.00	50.00	700	0.0029

VALORE DI Vs,eq CALCOLATO (m/s)
226

Categoria di sottosuolo
C



IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

INGE s.r.l.
 Via Taverna Vecchia, 19
81020 Castel Morrone (CE)

Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921