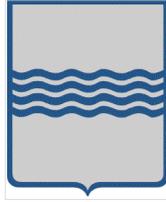


Comune
di Corleto Perticara



Regione Basilicata



Provincia di Potenza



Committente:

RWE

RENEWABLES ITALIA S.R.L.
Via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968
pec: rwerenewablesitaliasrl@legalmail.it

Titolo del Progetto:

**Progetto per la realizzazione di una centrale eolica da 44,80 MW nel
comune di Corleto Perticara (PZ)**

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Richiesta Autorizzazione Unica ai sensi del D. Lgs. 387 del 29/09/2003

N° Documento:

PECP_A.2

ID PROGETTO:

PECP

DISCIPLINA:

P

TIPOLOGIA:

R

FORMATO:

A4

Elaborato:

Relazione Geologica

FOGLIO:

SCALA:

Nome file:

PECP_A.2_Relazione Geologica.pdf

Progettazione:

R.T.P. D'Occhio - De Blasis
Via S. Angelo, 10 - 82020 Campolattaro (BN)

Progettisti:



dott. geol. Antonio Corradino

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	04/12/2020	PRIMA EMISSIONE	Antonio Corradino	R.T.P.	RWE

INDICE

• Premessa	p. 2
• Caratteri geologici	p. 4
• Caratteri idrogeologici, idrografia e idrologia	p. 8
• Geomorfologia e verifica rispetto al P.A.I.	p. 13
• Piano delle indagini geotecniche e caratterizzazione meccanica dei terreni	p. 16
• Indagini geofisiche	p. 21
• Riepilogo e conclusioni	p. 27

ALLEGATI

Corografia

Carta Geologica in scala 1:10000

Carta Geomorfologica e della franosità in scala 1:10000

Carta dei Complessi Idrogeologici e della permeabilità - scala 1:10.000

Planimetria con ubicazione delle indagini - scala 1:10.000

Fascicolo Indagini geotecniche ed analisi geotecniche di laboratorio

COMUNE DI CORLETO PERTICARA (PROVINCIA DI POTENZA)

"Progetto di realizzazione di un Parco Eolico" - Relazione Geologica

1 Premessa

L'arch. Carmine D'OCCHIO e L'ing. Giuseppe DE BLASIS, incaricati in RTP dalla società RWE per la progettazione di un parco Eolico nel Comune di Corleto Perticara ha incaricato il sottoscritto Geologo dott. ANTONIO CORRADINO, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con il numero di riferimento 1396, di effettuare, sui terreni interessati dai lavori in titolo, le indagini e gli studi geologico-tecnici necessari a caratterizzare la natura dei litotipi, verificando nel contempo le problematiche di ordine geologico esistenti.

Le indagini sono consistite essenzialmente in una verifica della situazione litostratigrafia locale, con la definizione dell'origine e della natura dei litotipi presenti, il loro stato di alterazione e fratturazione, la loro degradabilità, i lineamenti geomorfologici dell'area con i relativi processi geomorfici, i dissesti in atto eventuali e quelli potenzialmente attivabili, i lineamenti geostrutturali generali e la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità.

Le informazioni geologiche sono state desunte dalla bibliografia e dalla letteratura geologica, come indicazioni generali e preliminari; in una seconda fase si è approfondito lo studio procedendo con alcuni sopralluoghi diretti durante i quali si sono osservati i tagli naturali presenti in zona.

In questa fase, inoltre, si è proceduto alla esecuzione di un piano di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, al fine di determinare in via preliminare la fattibilità delle opere a farsi, rimandando alla fase esecutiva l'onere di dettagliare, attraverso una opportuna estensione della campagna di indagine, i dati necessari affinché possano essere soddisfatte tutte le richieste progettuali.

Il piano delle indagini fin qui eseguite è stato così articolato:

- *N° 1 prova penetrometrica dinamica continua super-pesante DPSH, corredata di analisi geotecnica su campione indisturbato prelevato in sito con fustella in acciaio zincato a pareti sottili, eseguita per il Progetto di installazione di una torre anemometrica;*
- *n° 1 indagine sismica in array lineare, con analisi congiunta delle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love, eseguita per il Progetto di installazione di una torre anemometrica;*
- *n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti con sonda perforatrice idraulica marca CMV modello MK 420 D attrezzata con carotiere semplice e doppio, con campionatori tipo Shelby e Mazier ed attrezzatura per il rivestimento del foro di perforazione;*
- *entrambi i fori di sondaggio sono stati condizionati con tubo inclinometrico per consentire un adeguato monitoraggio, nel tempo, di eventuali dissesti;*
- *n° 4 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) eseguite nel corso dei sondaggi a rotazione, utilizzando un meccanismo a sganciamento automatico e campionatore di tipo Raymond a punta chiusa;*
- *n° 4 prelievi di campione indisturbato in foro di sondaggio ed altrettanti set di analisi geotecniche di laboratorio.*

L'area in esame ricade nel territorio comunale di Corleto Perticara, indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 ed aggiornato con la Deliberazione del Consiglio Regionale della Basilicata n. 731 del 19.11.2003, come appartenente alla Zona Sismica II, con *accelerazione orizzontale massima convenzionale pari a 0,25g*. Pertanto, dal 7 novembre 2002, per ogni intervento è fatto obbligo di rispettare le disposizioni di cui alla Legge 2 febbraio 1974 n°64 e successive modificazioni ed integrazioni e le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche, di cui al Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n°29 del 5 febbraio 1996 e le relative istruzioni applicative (Circolare Ministero dei Lavori Pubblici n°65/AA.GG. del 10 aprile 1997), nonché alle NTC di cui al D.M. 17 Gennaio 2018.

2 Caratteri Geologici

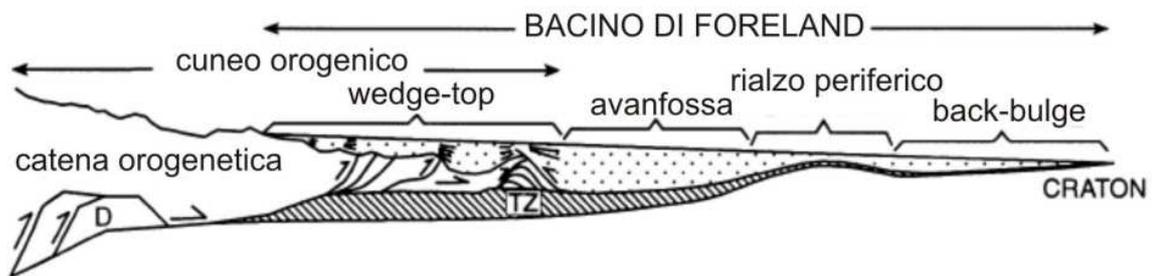
Con riferimento alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, l'area oggetto dell'indagine è caratterizzata dalla presenza in sub-affioramento di sedimenti terrigeni ascrivibili al "Flysch del Gorgoglione" (**FGO**) ed, in particolare al membro pelitico definito FGO₃, costituito da argille e argille siltose a foraminiferi planctonici, alternate a siltiti laminate, sottilmente stratificate e presenza di conglomerati disorganizzati, in strati metrici, marcatamente lenticolari.

La Catena appenninica costituisce un orogene a pieghe e thrust, originatosi a partire dall'Oligocene superiore-Miocene inferiore a causa della deformazione compressiva dei paleodomini oceanici che occupavano la fascia a ridosso del confine tra la Placca africana a sud e la Placca europea a nord. La Basilicata occupa il settore centrale del tratto meridionale della Catena appenninica il quale è noto nella letteratura specialistica come Appennino lucano.

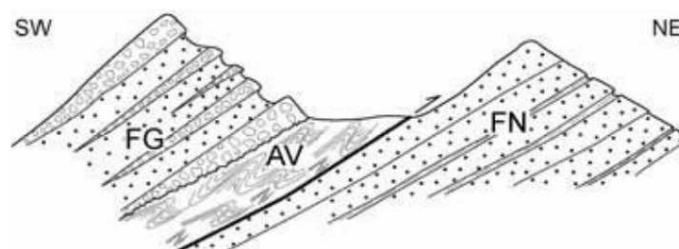
Lungo un ideale transetto che collega la costa tirrenica con l'Avampaese apulo, la struttura superficiale interna dell'Appennino lucano è costituita dalle seguenti unità:

- a) Unità Liguridi, le quali rappresentano un 'prisma di accrezione' oligo-miocenico formato, dal basso verso l'alto, da ofioliti, argilliti nerastre con intercalazioni quarzifere ed infine da spesse torbiditi calcaree;
- b) Unità della Piattaforma appenninica, costituite da dolomie, calcari, calcareniti e sedimenti clastici fliscioidi;
- c) Unità lagonegresi, formate da una porzione inferiore calcareo-silico-marnosa separata tettonicamente da quella superiore argillosa-calcarenitico-arenacea;
- d) Unità dei Flysch miocenici, rappresentate da depositi silicoclastici depositatisi in bacini satelliti (piggy-back, trust-top) sul fronte dell'orogene;
- e) Unità dell'Avanfossa bradanica, costituite da sedimenti clastici plio-pleistocenici;
- f) Unità della Piattaforma apula, costituite da carbonati meso-cenozoici.

Durante i processi di formazione e di accavallamento di un cuneo orogenico, nel settore esterno si forma una estesa zona di sedimentazione che rappresenta il Bacino di Foreland. Attualmente, il settore assiale dell'Appennino lucano è caratterizzato dalla presenza di flysch di età miocenica costituiti da depositi silicoclastici depositatisi all'interno di bacini satelliti (piggy-back) sviluppatasi sul fronte dell'orogene (depozona di wedge-top) (Fig. 2). Uno di questi depositi è rappresentato proprio dal Flysch di Gorgoglione (Langhiano-Tortoniano) che rappresenta il riempimento sedimentario di un piccolo bacino orientato parallelamente rispetto al fronte dei thrust appenninici e conosciuto con il nome di Bacino Irpino (Cocco et al., 1972; Pescatore, 1978).



La successione del Flysch di Gorgoglione (FG) si sviluppa in discordanza angolare sulla Formazione delle Argille Varicolori (AV). Questi due corpi sedimentari sovrapposti si accavallano, a loro volta, lungo una superficie di thrust, al di sopra della Formazione del Flysch Numidico (FN).



Le facies sedimentarie riconoscibili all'interno della successione del Flysch di Gorgoglione registrano dei processi deposizionali che sono avvenuti in un bacino profondo ed a causa dell'accumulo di grossi volumi di sedimento provenienti dallo smantellamento subaereo dei terreni che costituivano l'orogene in sollevamento a monte del bacino stesso.

I processi deposizionali sono di natura torbidity, prodotti cioè da correnti di torbida di variabile densità, ma capaci di trasportare sedimenti da molto grossolani

a fini. Per questo motivo, l'associazione di facies che è possibile riconoscere in affioramento abbraccia un considerevole range di variabilità. In sintesi, le facies sedimentarie possono essere riassunte in quattro associazioni principali:

- 1) Facies Conglomeratica: strati conglomeratici poligenici, da disorganizzati a parzialmente gradati, di spessore variabile; in affioramento si presentano in lenti di lunghezza di qualche centinaio di metri;
- 2) Facies Arenacea (raramente arenaceo-conglomeratica): strati e megastrati amalgamati massivi, privi di strutture sedimentarie e caratterizzati da superfici basali con un forte carattere erosivo (mud clasts presenti alla base);
- 3) Facies Arenaceo-Pelitica: alternanza ritmica di strati arenacei, gradati, ricchi di strutture sedimentarie (ripples, climbing ripples, laminazione piano-parallela e convoluta), e orizzonti siltosi laminati;
- 4) Facies Pelitico-Arenacea: successione di orizzonti siltosi, di colore grigiastro, saltuariamente alternati a strati arenacei sottili e gradati (simili a quelli presenti nella precedente facies).

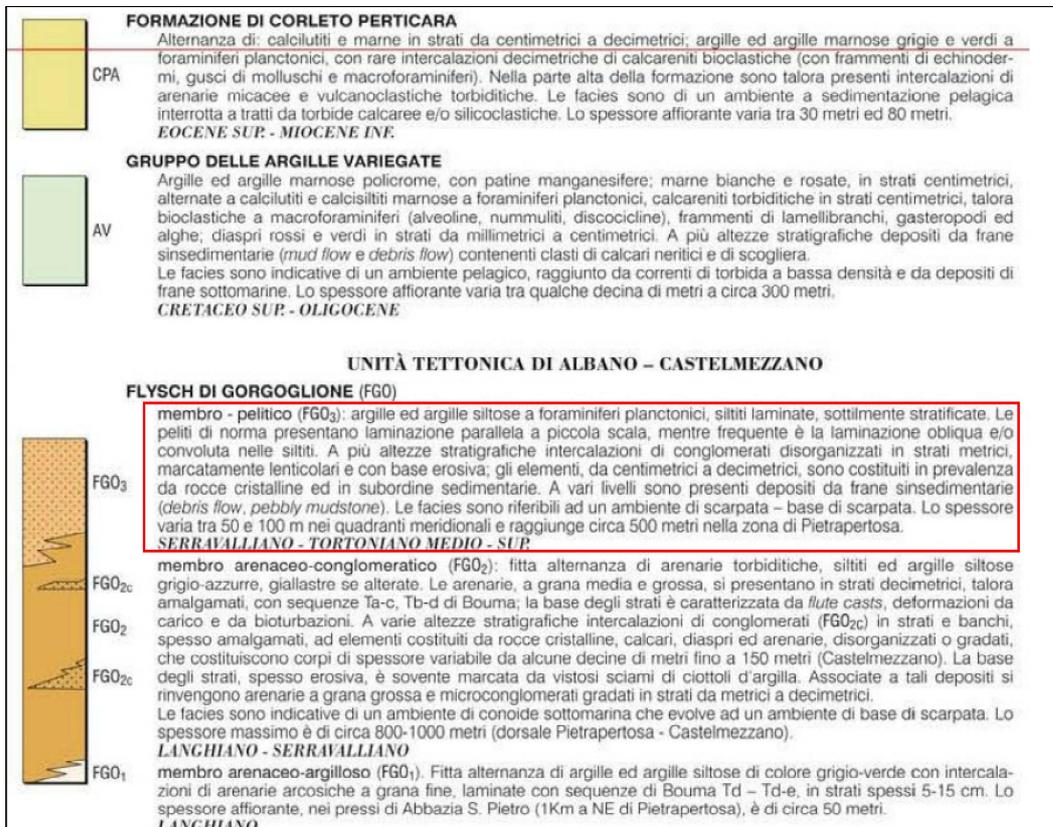
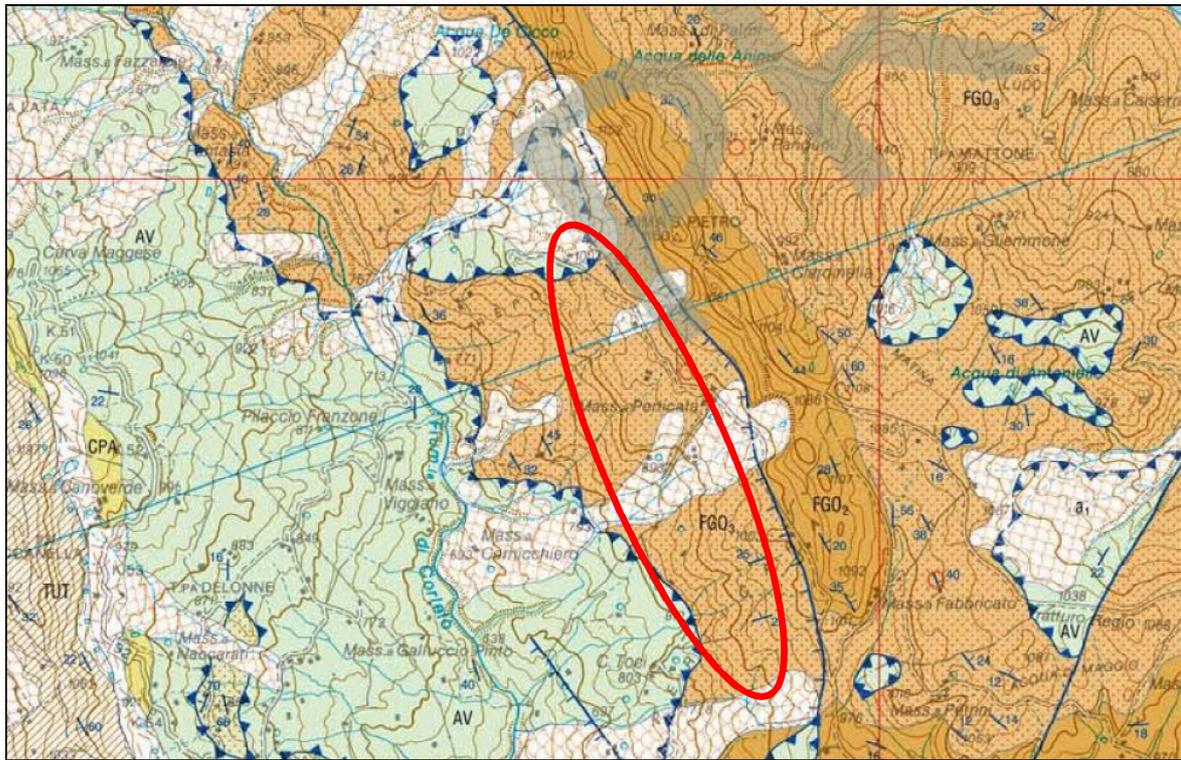


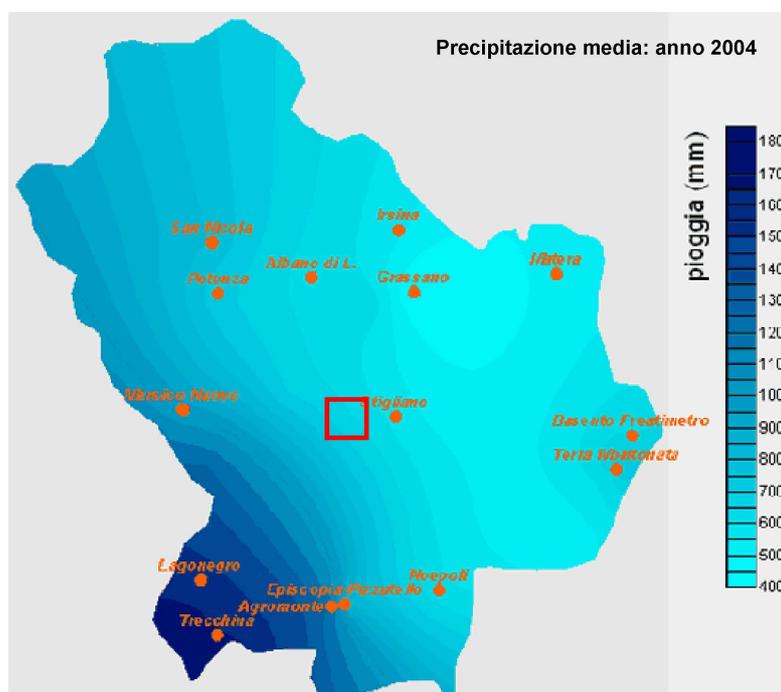
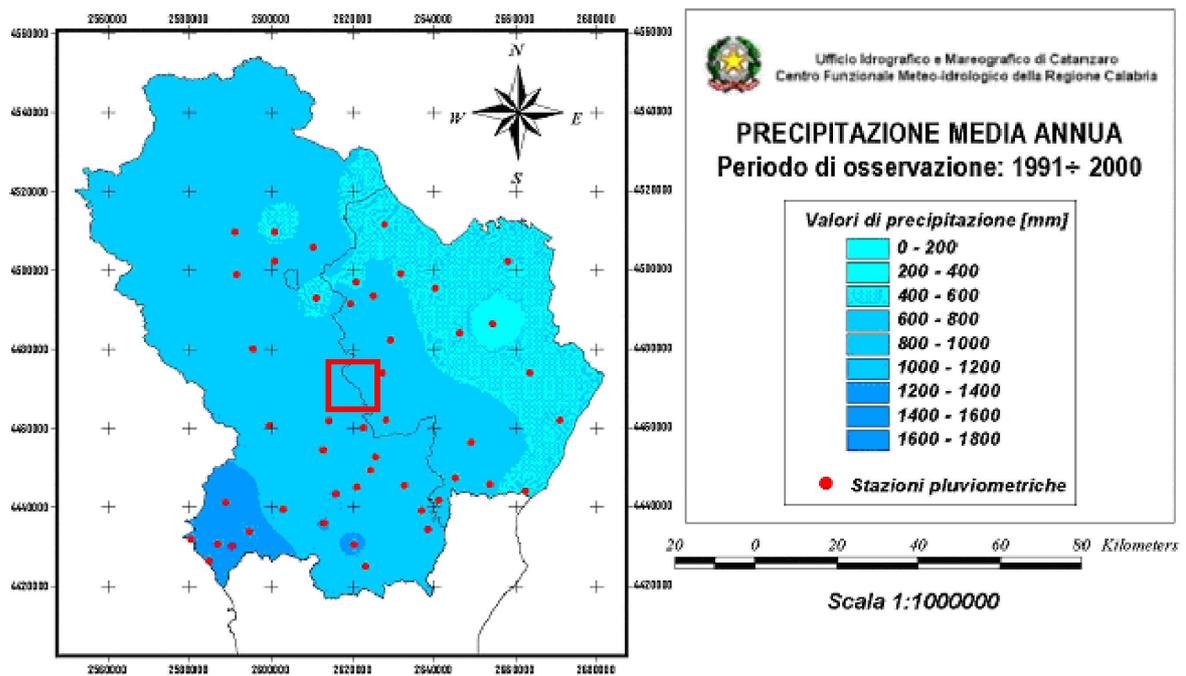
Figura 1: stralcio Carta Geologica d'Italia con ubicazione area in studio

3. Caratteri idrogeologici, idrografia e idrologia

Dal punto di vista idrogeologico i termini in sub-affioramento definiscono un Complesso idrogeologico "argilloso-siltoso-marnoso", caratterizzato da un coefficiente di Permeabilità estremamente basso per porosità e, in subordine, per fessurazione, generalmente nell'ordine di $10^{-7} < K < 10^{-9}$ m/sec: ciò determina l'assenza di vere e proprie falde, per via di una circolazione idrica trascurabile e coefficienti di deflusso superficiale elevati, con la sola possibilità di limitati accumuli idrici, a varie quote, all'interno delle frazioni lapidee conglomeratico-arenacee.

La densità di drenaggio è piuttosto alta, tipica di sedimenti terrigeni a granulometria argilloso-siltosa, con presenza diffusa di piccoli fossi e incisioni torrentizie di primo ordine gerarchico che definiscono un pattern idrografico dendritico.

Le precipitazioni medie annue nell'area oggetto di studio, come si evince dall'analisi delle serie storiche di pioggia in Basilicata disponibili presso l' Ufficio Idrografico e Mareografico di Catanzaro ed elaborate da A.R.P.A. Basilicata (di cui si riportano alcuni esempi nelle immagini alle figure seguenti), si attestano nell'ordine di circa 800mm annui e sono concentrate per la maggior parte nel periodo compreso tra Ottobre e Gennaio.



E' stata effettuata una stima del bilancio idrologico della porzione di sottobacino che insiste sull'areale interessato dalla realizzazione del parco eolico, di estensione pari a 11,7 km², al fine di verificare l'effettivo ruscellamento superficiale dei depositi argillosi, al fine di comprendere la dinamica delle acque superficiali e l'interazione coi corpi di frana esistenti e/o potenzialmente attivabili nell'ambito delle coltri di copertura.

La relazione fondamentale del bilancio idrologico è:

$$P = E + R + I$$

Ove: P = altezza pluviometrica

E = evapotraspirazione

R = ruscellamento superficiale

I = infiltrazione efficace

Per i dati di pluviometria si è fatto riferimento dall'analisi delle serie storiche di pioggia in Basilicata disponibili presso l' Ufficio Idrografico e Mareografico di Catanzaro ed elaborate da A.R.P.A. Basilicata (di cui si riportano alcuni esempi nelle immagini alle figure seguenti).

Il dato di piovosità media annua risultante dalle serie disponibili è di **800 mm**.

Moltiplicando tale dato per l'area del bacino considerato (11,7 Km²), si ottiene il volume totale di pioggia, che sarà pari a **9360 m³** .

Per il calcolo delle aliquote di evapotraspirazione, sono stati considerati i dati ufficiali di evapotraspirazione disponibili sul sito del **Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, disponibili per la provincia di Potenza per gli anni che vanno dal 2009 al 2017**; il valore annuo di evapotraspirazione media, pari a 308 mm, indica una perdita netta di volume pari a **3510 m³**

Il Deflusso Idrico globale presunto può essere ricavato dall'equazione

$$D_p = P - E$$

E, pertanto, sarà pari a $9360 \text{ m}^3 - 3510 \text{ m}^3 = 5850 \text{ m}^3$

Dal deflusso idrico globale $D=P-E$ si può risalire alle aliquote di infiltrazione e ruscellamento o empiricamente mediante i c.i.p. (coefficienti di infiltrazione potenziale) = $100-I/D$, che variano in funzione della litologia come mostrato nella tabella che segue (da CELICO, 1988):

complessi idrogeologici	c.i.p. % D	complessi idrogeologici	c.i.p. % D
calcari	90-100	lave	90-100
calcari dolomitici	70-90	depositi piroclastici	50-70
dolomie	50-70	piroclastiti e lave	70-90
calcari marnosi	30-50	rocce intrusive	15-35
detriti grossolani	80-90	rocce metamorfiche	5-20
depositi alluvionali	80-100	sabbie	80-90
depositi argilloso-marnoso-aren.	5-25	sabbie argillose	30-50

Per i litotipi argilloso-marnosi è stato considerato un c.i.p. pari al 15%

$$I_p = (C.I.P. / 100) * D_p$$

L'aliquota di Infiltrazione potenziale calcolata, sarà pari a $877,5 \text{ m}^3$

L'aliquota di Ruscellamento, invece, è data dall'equazione:

$$R_p = D_p - I_p$$

Che sarà pari a : $5850 \text{ m}^3 - 877,5 \text{ m}^3 = 4972,5 \text{ m}^3$

Dalla stima del bilancio idrologico si evince che la stragrande maggioranza di deflusso idrico globale sulla porzione di sottobacino che insiste sull'areale interessato dalla realizzazione del parco eolico, si esplica secondo aliquote di ruscellamento superficiale che possono interagire anche in maniera sostanziale con i termini argillosi presenti in sito.

4. Geomorfologia e verifica rispetto al P.A.I.

Il Parco eolico in progetto sarà ubicato a Nord-Est del centro abitato di Corleto Perticara, in Loc. Tempa Rossa, a valle della Strada Comunale Pietrapertosa-Corleto Perticara.

L'area interessata si inserisce nell'ambito di un contesto montuoso caratterizzato da direttrici a vergenza appenninica ed è ubicata su un versante mediamente acclive esposto a Sud-Ovest, degradante dalla Cima San Pietro (1160 metri s.l.m.) verso Masseria Galluccio-Pinto.

Nelle aree oggetto di studio il modello evolutivo geomorfologico è riconducibile ai processi di denudamento ed erosione sia lineare che diffusa.

Tali modelli si manifestano con tipologie differenti, a seconda dei litotipi interessati; in linea generale nei terreni arenaceo-pelitici le fenomenologie franose rappresentano gli agenti morfoevolutivi predominanti.

Non è raro trovare fenomeni di dissesto, trattandosi di litotipi rientranti nelle classiche formazioni strutturalmente complesse, tipiche della facies di flysch. L'eterogeneità dei termini, in genere, sta alla base di questi movimenti franosi che, talvolta, possono manifestarsi anche con una discreta consistenza. La tipologia dell'evento varia in relazione alla situazione morfologica, litologica, stratigrafica, meteo-climatica. In particolare tra i fattori passivi del pendio, detti anche fattori predisponenti, sostanzialmente stabili nel tempo, si comprendono la litologia, l'acclività, la stratigrafia, la giacitura e l'idrogeologia.

Tra i fattori attivi del pendio, detti anche determinanti, si annoverano quelli climatici, antropici e vegetazionali.

In genere le manifestazioni di instabilità si verificano in seguito a eventi occasionali come il deterioramento delle caratteristiche tecniche dei terreni, la variazione del contenuto d'acqua, l'aumento del carico sul versante, l'incremento della pendenza del pendio o in seguito a sollecitazioni sismiche o azioni antropiche.

Dall'analisi del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico vigente, redatto dall'ex A.d.B. della Basilicata, risulta che l'area è interessata da una serie di dissesti quiescenti o inattivi: è stata redatta all'uopo una Carta Geomorfologica

con Inventario Fenomeni Franosi che sintetizzasse la tipologia di movimento, confrontata con la carta del rischio idrogeologico.

Le considerazioni che si possono trarre, supportate dai dati del rilevamento geologico, sono le seguenti:

- Nessuno degli aerogeneratori in progetto ricade direttamente in aree in frana;
- La viabilità di accesso a WTG01 attraversa aree a rischio idrogeologico moderato R1 (cinematica da "creep") ed a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a uno "scivolamento rotazionale");
- La viabilità di accesso che collega WTG02 e WTG03 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a una "colata lenta");
- La viabilità di accesso che collega WTG04 e WTG05 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a "colata lenta");
- La viabilità di accesso a WTG06 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a una "colata lenta").

Dall'analisi delle forme superficiali, sebbene non sia stata rilevata alcuna vera e propria criticità in relazione al rischio idrogeologico, come confermato dalla verifica effettuata rispetto al P.A.I., si è comunque deciso di condizionare, in via preliminare, i due fori di sondaggio eseguiti ex-novo in corrispondenza degli aerogeneratori WTG01 e WTG05 con tubo inclinometrico per il monitoraggio sul medio periodo.

Le problematiche di stabilità che interessano i versanti, infatti, sono direttamente connesse alla natura dei depositi ed alle proprie, intrinseche, caratteristiche geotecniche.

I termini in affioramento e sub-affioramento, perlopiù argillosi, favoriscono importanti aliquote di ruscellamento superficiale, ad eccezione delle coperture che presentano frazioni granulometriche più francamente limoso-sabbiose; la modestissima circolazione idrica che si instaura, dunque, nei primi metri di profondità (le coperture presentano, nei punti in cui sono state eseguite le indagini, spessori compresi tra i 4.5 ed i 9.5 metri), tende a saturare le coperture e ad

innescare, a seguito delle inevitabili sollecitazioni al taglio, movimenti che possono evolversi in tipiche colate di terra o scorrimenti roto-traslativi.

Dall'analisi dei dati idrologici riportati al paragrafo precedente, è possibile affermare che gli eventuali movimenti di versante possano innescarsi e/o riattivarsi con maggiore probabilità nel periodo di massima precipitazione annua, tra Ottobre e Gennaio.

Al riguardo verrà eseguito, nei mesi seguenti, un monitoraggio inclinometrico sui siti campione WTG01 e WTG05 in modo tale da avere contezza di eventuali dissesti e predisporre le necessarie misure di salvaguardia finalizzate ad ancorare correttamente al substrato le fondazioni degli aerogeneratori a farsi.

4. Piano delle indagini geotecniche e caratterizzazione meccanica dei terreni

Il piano delle indagini è stato così articolato:

- *N° 1 prova penetrometrica dinamica continua super-pesante DPSH, corredata di analisi geotecnica su campione indisturbato prelevato in sito con fustella in acciaio zincato a pareti sottili, eseguita per il Progetto di installazione di una torre anemometrica;*
- *n° 1 indagine sismica in array lineare, con analisi congiunta delle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love, eseguita per il Progetto di installazione di una torre anemometrica;*
- *n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti con sonda perforatrice idraulica marca CMV modello MK 420 D attrezzata con carotiere semplice e doppio, con campionatori tipo Shelby e Mazier ed attrezzatura per il rivestimento del foro di perforazione;*
- *entrambi i fori di sondaggio sono stati condizionati con tubo inclinometrico per consentire un adeguato monitoraggio, nel tempo, di eventuali dissesti;*
- *n° 4 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) eseguite nel corso dei sondaggi a rotazione, utilizzando un meccanismo a sganciamento automatico e campionatore di tipo Raymond a punta chiusa;*
- *n° 4 prelievi di campione indisturbato in foro di sondaggio ed altrettanti set di analisi geotecniche di laboratorio.*

Il modello stratigrafico e geologico-tecnico, derivante dall'analisi incrociata dei dati delle colonne stratigrafiche relative ai sondaggi geognostici eseguiti ex-novo a corredo del presente studio, delle prove penetrometriche dinamiche super-pesanti, dai dati delle analisi geotecniche sui campioni e dalle risultanze delle prospezioni geofisiche, è stato interpretato nei grafici alle figure seguenti.

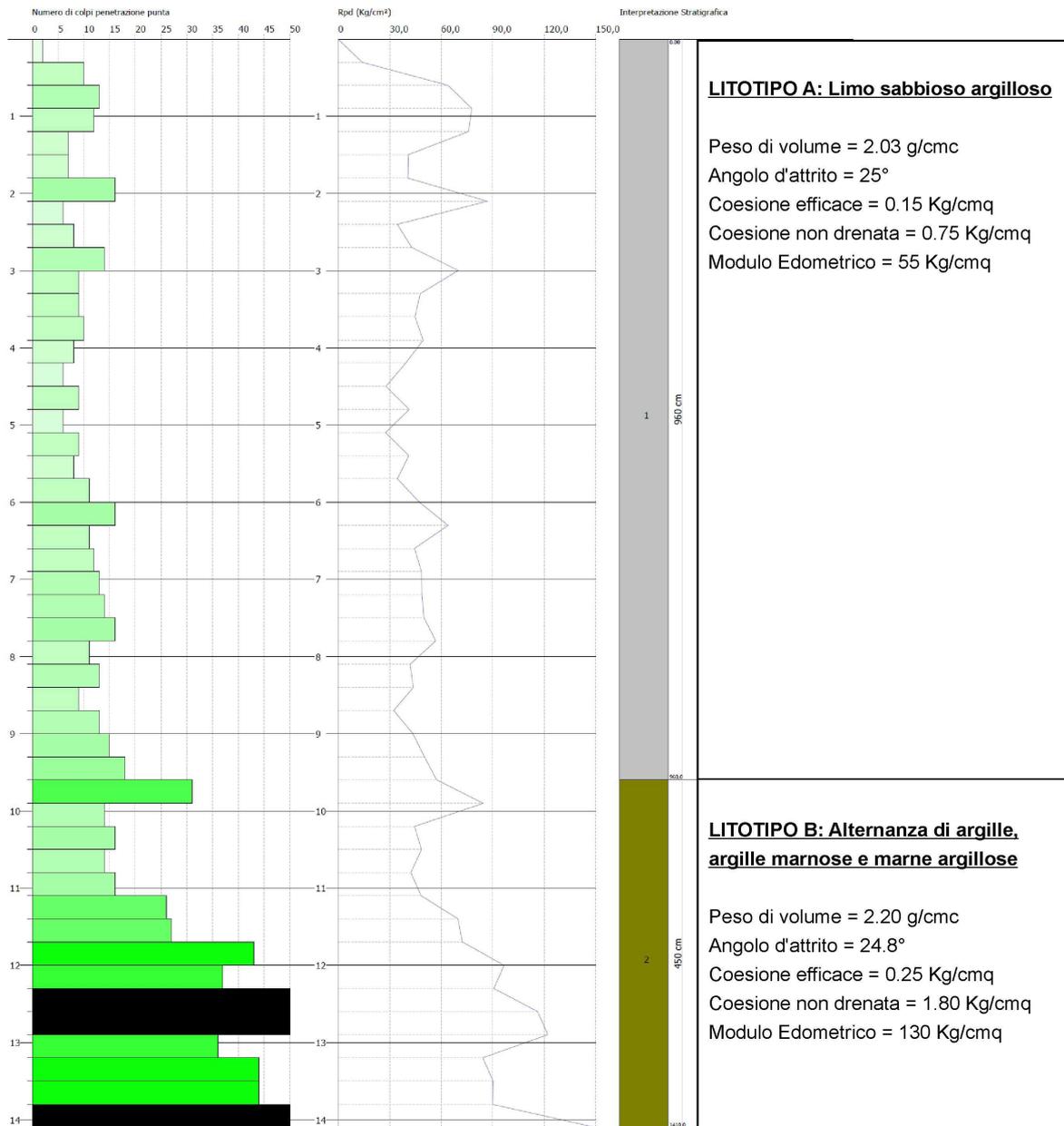
Data la monotonia dei litotipi, caratterizzati esclusivamente da una variabilità verticale in termini di spessore delle coperture e da moderata variabilità laterale,

non si è ritenuto opportuno, in questa fase, procedere alla redazione di sezioni geologiche, in quanto i modelli geologico-tecnici sono ben rappresentati dalle sole colonne stratigrafiche locali.

MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL SOTTOSUOLO: PUNTO WTG01

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	
-1		Limo sabbioso di colore marrone-verdastro con pietrame calcareo-marnoso	-1.00	LITOTIPO A: Limo sabbioso argilloso Peso di volume = 2.03 g/cm ³ Angolo d'attrito = 25° Coesione efficace = 0.15 Kg/cm ² Coesione non drenata = 0.75 Kg/cm ² Modulo Edometrico = 55 Kg/cm ²
-2		Limo sabbioso-argilloso di colore marrone verdastro, con livelli argillosi di colore grigiastro	-4.50	
-5		Argilla limosa di colore prevalentemente grigio / grigio-azzurro, sottilmente stratificata, a tratti scagliosa	-14.50	LITOTIPO B: Alternanza di argille, argille marnose e marne argillose Peso di volume = 2.20 g/cm ³ Angolo d'attrito = 24.8° Coesione efficace = 0.25 Kg/cm ² Coesione non drenata = 1.80 Kg/cm ² Modulo Edometrico = 130 Kg/cm ²
-15		Marna argillosa di colore grigio chiaro, sottilmente stratificata, con livelli argillosi grigi	-20.50	
-21		Argilla di colore prevalentemente grigio / grigio-azzurro, sottilmente stratificata, a tratti scagliosa. Verso la parte terminale presenza di livelli argillosi di colore marrone scuro	-30.00	
-29				

MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL SOTTOSUOLO: PUNTO WTG02



MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL SOTTOSUOLO: PUNTO WTG05

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	
-1		Limo sabbioso-argilloso di colore marrone verdastro, con livelli argillosi di colore grigiastro	-6.50	<p><u>LITOTIPO A: Limo sabbioso argilloso</u></p> <p>Peso di volume = 2.03 g/cmc Angolo d'attrito = 25° Coesione efficace = 0.15 Kg/cmq Coesione non drenata = 0.75 Kg/cmq Modulo Edometrico = 55 Kg/cmq</p>
-2				
-3				
-4				
-5				
-6				
-7		Argilla limosa di colore prevalentemente grigio / grigio-azzurro, sottilmente stratificata, a tratti scagliosa	-19.80	<p><u>LITOTIPO B: Alternanza di argille, argille marnose e marne argillose</u></p> <p>Peso di volume = 2.20 g/cmc Angolo d'attrito = 24.8° Coesione efficace = 0.25 Kg/cmq Coesione non drenata = 1.80 Kg/cmq Modulo Edometrico = 130 Kg/cmq</p>
-8				
-9				
-10				
-11				
-12				
-13				
-14				
-15				
-16				
-17				
-18				
-19				
-20		Marna argillosa di colore grigio chiaro, sottilmente stratificata, con livelli argillosi grigi	-25.00	
-21				
-22				
-23				
-24				
-25		Argilla di colore prevalentemente grigio / grigio-azzurro, sottilmente stratificata, a tratti scagliosa.	-30.00	
-26				
-27				
-28				
-29				

5. Indagini Geofisiche

Nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione geomeccanica dei terreni costituenti il sottosuolo per i lavori di cui in titolo, lo scrivente ha condotto una campagna di prospezioni geofisiche, allo scopo di caratterizzare la risposta sismica locale del sito in esame.

Nell'area investigata è stata eseguita una serie di acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et alii, 1969; Hermann, 2013; Pedersen et alii, 2003) opportunamente adattata al fine di sfruttare in maniera olistica tanto la componente radiale che quella verticale dell'onda di Rayleigh, quanto l'onda di Love .

A tal fine è stato impiegato il software HoliSurface® 2018 che implementa una metodologia innovativa (brevetto concesso il 01.04.2015); quest'ultima, in uno ad un'adeguata strumentazione hardware, consente di analizzare la propagazione delle onde di superficie al fine di determinare il profilo verticale della V_s .

Il termine HoliSurface® (da Holistic Surface) esprime il fatto che lo scopo del metodo/software è quello di analizzare la propagazione delle onde di superficie in modo completo, cioè olistico (dal greco ὅλος, cioè "totalità").

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n°42 del 20/02/2018 – Suppl. Ordinario n°8) che, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della $V_{s,eq}$ definita dalla relazione:

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

in cui $V_{s,i}$ e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

Le acquisizioni di campagna sono state eseguite mediante l'impiego di un geofono triassiale equalizzato, marca Geospace Technologies (SN261379004), da 4.5Hz ed un sismografo GEA24 (SN17151) della PASI. Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato adoperato il software HoliSurface® 2018 della **Eliosoft geophysical software and services**.

La Figura 1 riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh.

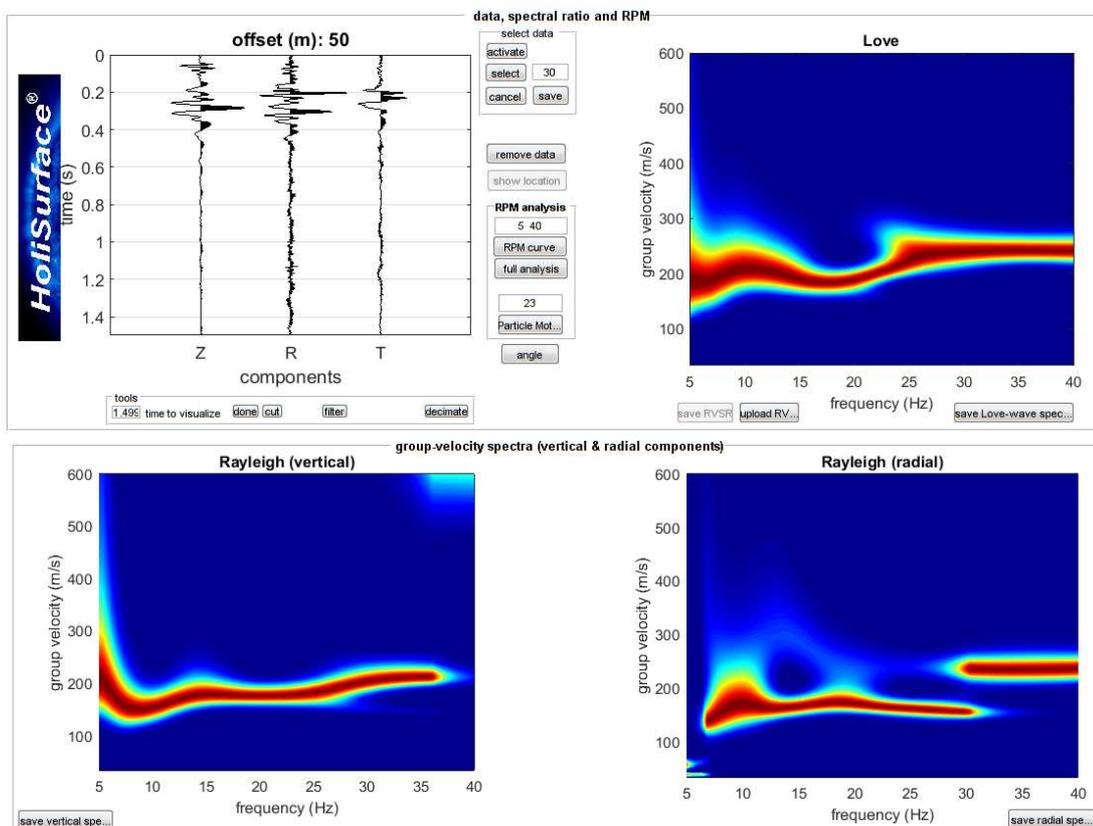


Figura 3: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love

Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità delle tre componenti delle onde di superficie.

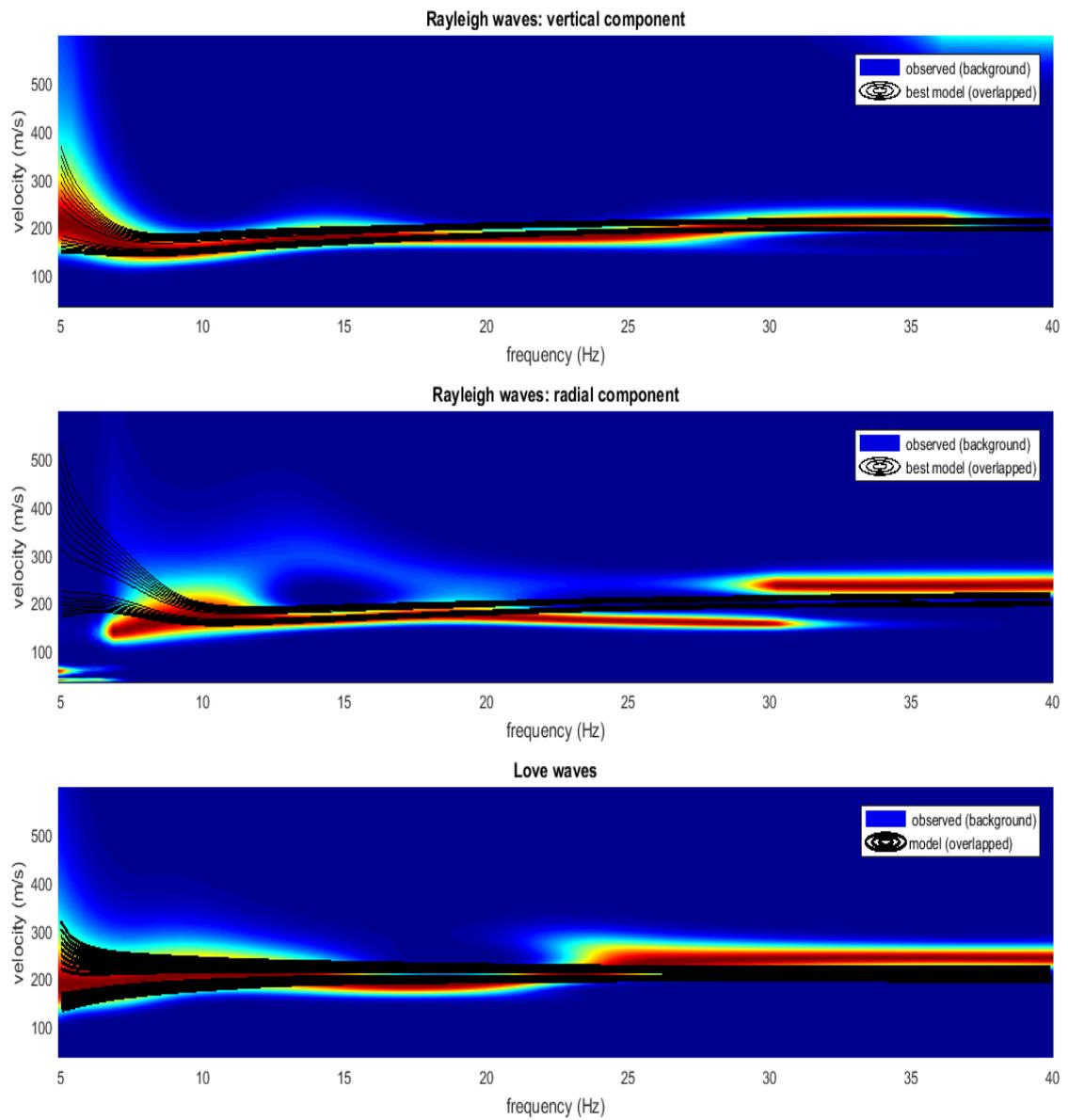


Figura 4: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo della componente verticale dell'onda di Rayleigh, della componente radiale dell'onda di Rayleigh.

tabella riepilogativa dei sismostrati individuati: analisi congiunta HS			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	252	0.5000	0.5000
2	164	0.5100	1.0100
3	256	2.5000	3.5100
4	216	2.6000	6.1100
5	261	5.5000	11.6100
6	347	4.1000	15.7100
7	381	5.0400	20.7500
8	418	12	32.7500
9	461	25	57.7500
10	850	0	0

V_{seq} (al piano campagna) = 315 metri/sec

CATEGORIA DI SUOLO: C

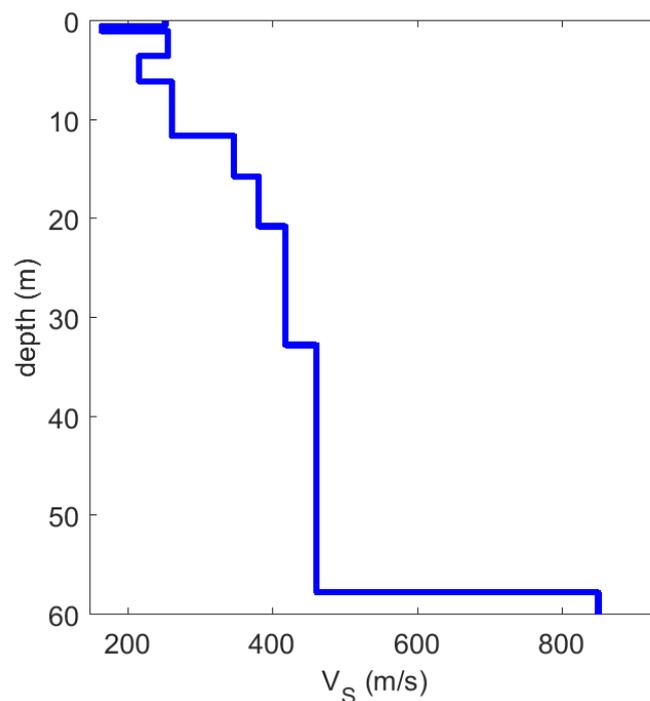


Figura 5: profilo di Vs identificato

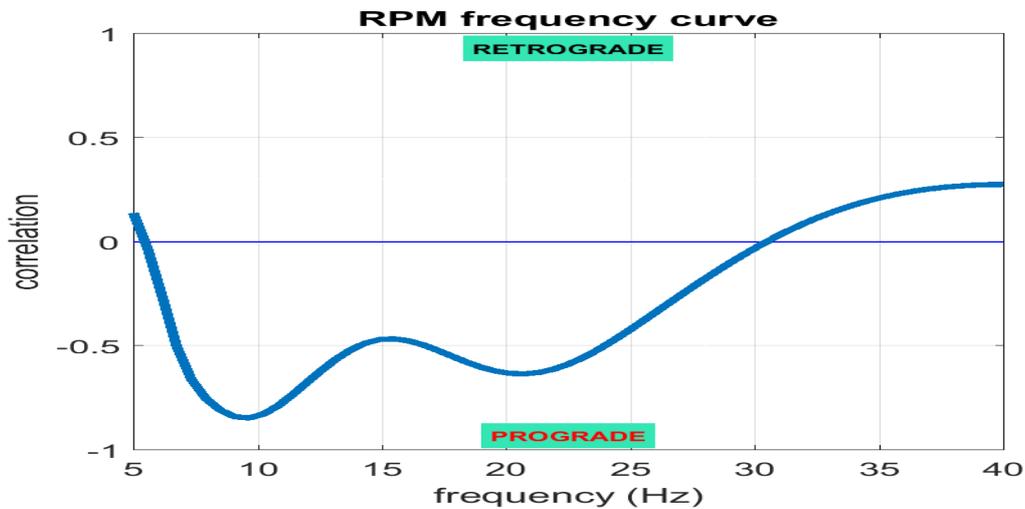


Figura 6: curva RPM registrata (Rayleigh-wave Particle Motion), indicante il moto al suolo determinato dal passaggio dell'onda di Rayleigh.

L'analisi congiunta della propagazione delle onde di superficie eseguita tramite la metodologia MFA (basandoci quindi sulle velocità di gruppo) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS e, di conseguenza, del parametro VS_{eq} che è risultato essere pari a 315 m/s.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018, c.d. NTC2018) il sito in esame può essere quindi inserito nella Categoria di sottosuolo C (vedi Tab. 3.2. II riportata in figura seguente, così come riportato nel D.M. 14/01/2018).

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.

Riferimenti bibliografici:

- Dal Moro G., 2012, Onde di Superficie in Geofisica Applicata - acquisizione ed analisi secondo le tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 196pp.
- Dal Moro G. e Marques Moura R.M., 2013. Multi-component Acquisition and Joint Analysis of Surface Waves: some Issues and Two Case Studies, inviato alla rivista J. Appl. Geophysics.
- Dal Moro G., 2014. Surface Wave Analysis for Near Surface Applications. ISBN 978-0-12- 800770-9, Elsevier, 252pp.
- Dal Moro G., 2015. Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites. ICARUS, 254, 338-349
- Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015. A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data. First Break, 33, 45-53
- Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015. Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves. Proceedings Near-Surface EAGE 2015 (Turin - Italy)
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015c. Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area. J. Appl. Geophysics, 114, 158-167
- Dal Moro G., 2019. Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica; Dario Flaccovio Editore, ISBN 9788857908786, 280pp
- Dziewonsky A., Bloch S., Landisman N., 1969, "A technique for the analysis of transient seismic signals", Bull. Seism. Soc. Am., vol. 59, pp. 427-444 Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (<http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html>)
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.
- Pedersen H. A., Mars J. I., Amblard P., 2003, Improving surface-wave group velocity measurements by energy reassignment, Geophysics, vol. 68, no. 2, pp. 677-684

In riferimento ai dati della campagna di indagini geofisiche che lo scrivente ha eseguito e di cui ai paragrafi precedenti, il sito in esame può essere classificato come appartenente alla **Categoria Suolo di Fondazione C.**

7. Riepilogo e Conclusioni

L' area oggetto dell'indagine è caratterizzata dalla presenza in sub-affioramento di sedimenti terrigeni ascrivibili al "Flysch del Gorgoglione" (**FGO**) ed, in particolare al membro pelitico definito FGO₃, costituito da argille e argille siltose a foraminiferi planctonici, alternate a siltiti laminate, sottilmente stratificate e presenza di conglomerati disorganizzati, in strati metrici, marcatamente lenticolari.

Nell'area investigata non è scaturita la presenza di una vera e propria falda idrica per profondità di interesse geotecnico e pertanto è possibile omettere la verifica del potenziale di liquefazione dei terreni, in accordo con quanto disposto al Par. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, di cui al D.M. 17 Gennaio 2018.

In riferimento ai dati della campagna di indagini geofisiche che lo scrivente ha eseguito, il sito in esame può essere classificato come appartenente alla **Categoria Suolo di Fondazione C.**

In merito alle problematiche di ordine idrogeologico , dal rilevamento di superficie e dall'analisi del P.A.I. risulta che:

- Nessuno degli aerogeneratori in progetto ricade direttamente in aree in frana;
- La viabilità di accesso a WTG01 attraversa aree a rischio idrogeologico moderato R1 (cinematica da "creep") ed a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a uno "scivolamento rotazionale");
- La viabilità di accesso che collega WTG02 e WTG03 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a una "colata lenta");
- La viabilità di accesso che collega WTG04 e WTG05 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a una "colata lenta");
- La viabilità di accesso a WTG06 attraversa aree a rischio idrogeologico medio R2 (cinematica ascrivibile a una "colata lenta").

Dall'analisi delle forme superficiali, sebbene non sia stata rilevata alcuna vera e propria criticità per i siti interessati dalla realizzazione degli aerogeneratori, si è comunque deciso di condizionare, in via preliminare, i due fori di sondaggio

eseguiti ex-novo in corrispondenza degli aerogeneratori WTG01 e WTG05 con tubo inclinometrico per il monitoraggio sul medio periodo.

Le problematiche di stabilità che interessano i versanti, infatti, sono direttamente connesse alla natura dei depositi ed alle proprie, intrinseche, caratteristiche geotecniche.

I termini in affioramento e sub-affioramento, perlopiù argillosi, favoriscono importanti aliquote di ruscellamento superficiale, ad eccezione delle coperture che presentano frazioni granulometriche più francamente limoso-sabbiose; la modestissima circolazione idrica che si instaura, dunque, nei primi metri di profondità (le coperture presentano, nei punti in cui sono state eseguite le indagini, spessori compresi tra i 4.5 ed i 9.5 metri), tende a saturare le coperture e ad innescare, a seguito delle inevitabili sollecitazioni al taglio, movimenti che possono evolversi in tipiche colate di terra o scorrimenti roto-traslativi.

Dall'analisi dei dati idrologici, è possibile affermare che gli eventuali movimenti di versante possano innescarsi e/o riattivarsi con maggiore probabilità nel periodo di massima precipitazione annua, concentrati tra Ottobre e Gennaio.

Al riguardo verrà eseguito, nei mesi seguenti, un monitoraggio inclinometrico sui siti campione WTG01 e WTG05 in modo tale da avere contezza di eventuali dissesti e predisporre le necessarie misure di salvaguardia finalizzate ad ancorare correttamente al substrato le fondazioni degli aerogeneratori a farsi.

Giungano, Ottobre 2020

Il Geologo
Dott. Antonio Corradino

