Studio di geologia tecnica e ambientale
dott.
MASSIMO MORACHIOLI
geologo

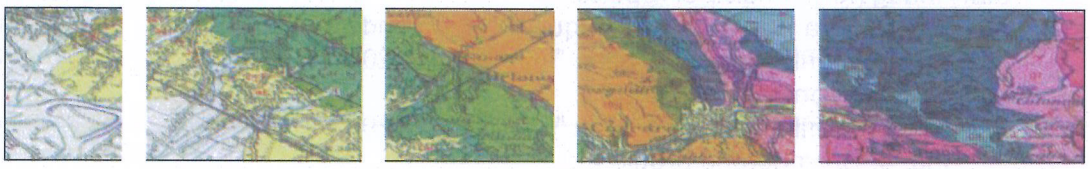
D.M. 14.01.2008

Relazione sulla modellazione geologica e sismica definitiva/esecutiva e sulla modellazione geotecnica preliminare inerente i terreni interessati dalla costruzione di due aerogeneratori in località Passo della Cappelletta, Comune di Varese Ligure (SP).

Committente: Fontenergia srl

Via S. Ravecca, 23 - 19123 LA SPEZIA

P.IVA 01632570998



Castelnuovo Magra, 04.01.2016

Studio :
Via Canale, 8
19033 Molicciara, Castelnuovo Magra (SP)
tel./fax. 0187/674619 cell. 338/4732264
www.morachioli.it

e-mail:
massimo.morachioli@libero.it
P.E.C.
massimo.morachioli@pec.it
massimo.morachioli@epap.sicurezzapostale.it

Sede Fiscale:
Via Bozzi, 23
19034 Ortonovo (SP)
C.F.: MRC MSM 58R13 C240V
P. IVA: 00785740119

ELENCO ALLEGATI

*** *** ***

1) Ubicazione dell'area di studio (base C.T.R.)
Scala 1:5000

2) Carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica
Scala 1:5000
2bis) Estratto del Piano Assetto Idrogeologico del F. Magra (D.C.I. 180/06).
Tav. 3 - Carta della Pericolosità Geomorfologica.
Scala 1:10000
2ter) Estratto dal P.T.C.P. della Provincia di Parma.
TAV. C2 Carta del dissesto
(variante specifica di aggiornamento 2013-2014).
Scala 1:10.000

3) Estratto del Piano Assetto Idrogeologico del F. Magra (D.C.I. 180/06).
Tav. 2 – Carta del reticolo idrografico.
Scala 1:10.000
3bis) Estratto dal Geoportale Emilia Romagna.
DBTR2013 - Corso d'acqua naturale - (FIU_GLI)
Scala 1:10.000

4) Pianta dell'area di studio.
Scala 1:2000
4bis) Ubicazione delle prove penetrometriche su base Google earth con relative coordinate geografiche e documentazione fotografica degli affioramenti rocciosi
Scala 1:2500

5) Elaborazione dati delle prove penetrometriche dinamiche.
Tabelle e grafici
5bis) Indagine geofisica.
Sismica M.A.S.W. con acquisizione di onde Rayleigh.
Elaborazione ottenuta con software Winmasw 5.0 pro della ditta Eliosoft
5ter) Indagine geofisica di repertorio.
Sismiche a rifrazione con acquisizione di onde "P".
Fig. 1: Profilo sismico 1 onde "P" - Scala 1:200;
Fig. 2: Dromocrone profilo 1;
Fig. 3: Profilo sismico 2 onde "P" - Scala 1:200;
Fig. 4: Dromocrone profilo 2

6) Sezioni geologico-tecniche quotate interpretative (figg. 1 - 2)
Scala 1:400

7) Valutazione del fattore di amplificazione sismica *(Fa)*
nelle zone di cresta.

8) Verifiche di stabilità del versante con software SSAP 4.5.0
(Slope Stability Analysis Program 4.6.9 (1991-2015) del dr. geol. L. Borselli
Tabelle e grafici.

9) Documentazione fotografica. Didascalie.

Premessa

Su incarico della ditta FONTENERGIA SRL, con sede in Via S. Ravecca, 23, La Spezia (SP), si è provveduto ad eseguire una accurata indagine geologico-tecnica volta a determinare la modellazione geologica e sismica definitiva-esecutiva e la modellazione geotecnica preliminare dei terreni interessati dal progetto di costruzione di due aerogeneratori in località Passo della Cappelletta, Comune di Varese Ligure (SP)(Fig. 1).

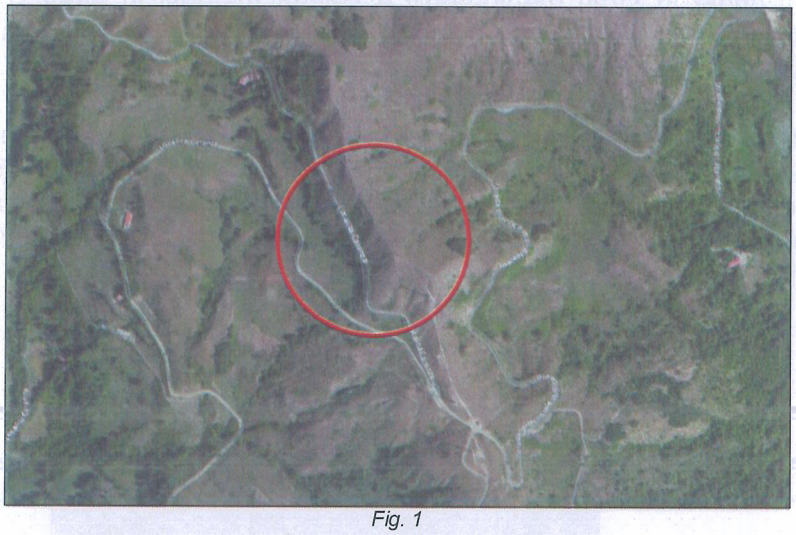


Fig. 1

[Lo studio è stato svolto secondo le norme del D.M. 14/01/08 e relativa circolare n° 617/09 e dei D.P.R. 554/99 e D.P.R. 328/01, della L.R. 4/99 così come modificata dalla L.R. 63/09; inoltre il presente studio è stato redatto in conformità con le norme di attuazione d'ordine geologico a corredo del PUC del Comune di Varese Ligure (SP). Il Comune di Varese Ligure è inserito in ***Zona 3*** della classificazione sismica nazionale di cui all'***OPCM 3274/03***; *la Regione Liguria, sulla base dell'OPCM 3519/06, con la* ***D.G.R. n° 1362 del 19.11.2010****, ha provveduto a riclassificare l'intero territorio regionale, per cui il Comune di Varese Ligure (n° progressivo 69, n° identificativo 29 sulla mappa allegata alla suddetta DGR) è stato inserito in* ***Zona 3S*** *(vd. Fig. 2).*]

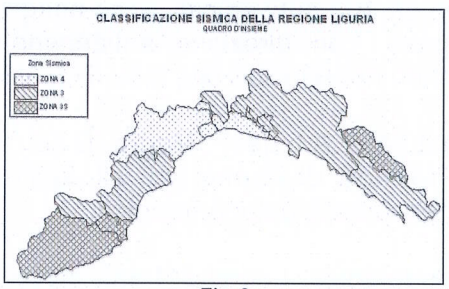


Fig. 2

A. Modellazione geologica

A.1. Situazione geologica e geomorfologica

Le aree di costruzione dei due aerogeneratori sono situate sul crinale di un rilievo montuoso alle quota di circa 1105 e 1110 mt. s.l.m. (vd. all. 1 bis).

Dal punto di vista geologico, l'area di studio è caratterizzata dalle seguenti formazioni (vd. all. 2, dall'alto verso il basso):

1. DEPOSITI QUATERNARI

- **Corpi di frana in evoluzione o attivi:** si tratta di accumuli generalmente eterogenei ed eterometrici di materiale litoide e non, in matrice limoso-sabbioso-argillosa, con assetto scompaginato che presentano indizi di attività. In particolare sul versante ligure è presente una frana di grandi dimensioni di tipo complesso per scorrimento rototraslazionale più colamento **(Fa_{RTC})** che lambisce il centro abitato di Caranza. Sul versante emiliano sono presenti corpi di frana attivi per scivolamento **(a1b)**, per colamento di fango **(a1d)** e complessi **(a1g)**.

- **Corpi di frana quiescenti:** sono differenziate rispetto alle precedenti per il fatto che non presentano cenni di movimento; per il resto presentano caratteristiche analoghe alle precedenti. Sul versante emiliano sono presenti corpi di frana quiescenti complessi **(a2g).**

2. DOMINIO SUBLIGURE

- **Argille e Calcari di Canetolo (ACC)**: *è il substrato roccioso sul quale insiste l'area di studio*; si tratta di peliti grigio nere non carbonatiche in strati medi e spessi alternate a calcilutiti grigie in strati medio-sottili e calcari marnosi in strati spessi e molto spessi. Intercalazioni di arenarie e siltiti in strati gradati medio-sottili. Torbiditi ed emipelagiti di ambiente bacinale. *Eocene inf. - medio.*

Il substrato roccioso è affiorante/sub-affiorante in tutta l'area di studio interessata dalla costruzione dei due aerogeneratori (vd. all. 4 bis); altri affioramenti continui limitrofi all'area di studio si trovano lungo il taglio stradale (versante ligure) che, dalla statale del Passo delle Cento Croci porta al Passo della Cappelletta (vd. fig. 3) e sul crinale verso il Monte Gottero (verso SUD-EST).



Fig. 3

Dall'esame degli affioramenti e delle foto aeree visionate per precedenti studi, emerge che la roccia è interessata da un sistema di fratturazione e di faglie (dirette) con direzione Appenninica (NW-SE), in genere subverticali, accompagnato da una serie di faglie e fratture coniugate (ad alto angolo), con direzione antiappenninica (SW-NE). Questi sistemi di fratturazione e di faglia sono riconducibili alla fase distensiva post-orogenetica.

Dalla lettura della tavola 3 del P.A.I. del F. Magra (D.C.I. 180/60)(vd. all. 2 bis) e della tavola C2 del P.T.C.P. della Provincia di Parma (vd. all. 2ter) si evince che l'area di studio non ricade in alcuna area a pericolosità geomorfologica.

Dal punto di vista geomorfologico, i corpi di frana presenti sul versante emiliano, più vicini alle due aree di costruzione, sono rappresentati da una frana attiva per colamento ed una frana quiescente complessa (vd. all. 2).

Sul versante ligure, oltre al grande corpo di frana attivo di Caranza, situato a discreta distanza dall'area in esame, sono state rilevate alcune aree interessate da fenomeni di soliflusso, in genere abbastanza superficiale, e piccole aree depresse (non cartografabili) soggette ad erosione. Per questi motivi il crinale, perlomeno laddove è più stretto, può essere definito in "assottigliamento".

A.2. Situazione idrogeologica

Dal punto di vista idrogeologico le rocce ed i terreni descritti nel precedente paragrafo possono essere così classificati (vd. all. 2):

- **Substrato roccioso impermeabile o a bassa permeabilità per porosità, fessurazione (ibPF):** si tratta della Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo, prevalentemente argillitica, quindi impermeabile. Una debole permeabilità è rilevabile nei livelli più spessi e

caratterizzati da una discreta continuità laterale di calcare e di arenaria, sebbene quasi mai costituiscano degli acquiferi significativi.

- **Terreno a media permeabilità per porosità (mP):** si tratta dei depositi detritici di alterazione in senso lato, cartografabili e non, e dei corpi di frana attivi e quiescenti, caratterizzati da sedimenti a granulometria eterogenea, in particolare frammenti litoidi di varia pezzatura (dalla ghiaia al blocco) immersi però in una matrice limo-argillosa, solo, localmente sabbiosa, che ne riduce la permeabilità complessiva. Dal punto di vista della permeabilità relativa, la permeabilità di questi depositi varia sensibilmente a seconda che giacciano su un substrato roccioso impermeabile, che favorisce l'imbibizione d'acqua della coltre detritica, o permeabile, che al contrario drena il deposito detritico.

L'idrografia superficiale è abbastanza decisa e regolare per cui, unitamente alla particolare posizione morfologica dell'area di costruzione, la zona si presenta ben drenata. Piccoli ristagni d'acqua possono trovarsi in piccole depressioni e nelle zone più pianeggianti, poste più a valle rispetto alle due aree di costruzione, a causa del substrato roccioso impermeabile.

Dall'esame della carta del reticolo idrografico del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del F. Magra (D.C.I. 180/06)(vd. all. 3), si evince che l'area di studio è situata in prossimità del limite del bacino idrografico.

All'epoca del rilevamento (Dicembre '15) è stata rilevata una piccola emergenza di falda sul versante ligure, immediatamente a valle dell' aerogeneratore esistente adiacente il parcheggio del Passo della Cappelletta. Sul versante ligure la carta tecnica regionale riporta la presenza di una sorgente.

Le prove penetrometriche eseguite nello stesso periodo, spinte fino alla profondità massima di 5,60 mt. non hanno rilevato la presenza di acqua.

Prove penetrometriche di repertorio (1998), eseguite per la costruzione dei primi due aerogeneratori esistenti (verso Nord-Ovest rispetto al Passo della Cappelletta), hanno rilevato solo in un punto (zona prossima alla piccola emergenza di cui sopra) la presenza della falda ad una profondità di circa 7,5 mt. da p.c..

Tuttavia, vista la struttura geologica dell'area di studio, non si esclude che, in periodi particolarmente piovosi, non possano verificarsi momentanee circolazioni d'acqua d'infiltrazione all'interno della roccia più superficiale molto alterata e fratturata.

A.3. L'indagine geognostica

Per caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni e le rocce presenti nell'area di studio, e per riconoscerne la stratigrafia, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche super-pesanti e, in conformità con il D.M. 14.01.2008 e relativa circolare esplicativa n° 617/09, è stata eseguita una stesa sismica M.A.S.W. di lunghezza pari a 23,0 mt. (oltre 1,0 mt. per lo shot esterno) che, acquisendo dati relativi alle onde di Rayleigh, ha permesso di avere dati accurati inerenti le onde "S".

Sono state inoltre prese in esame due linee sismiche a rifrazione in onde "P" eseguite, per uno studio a corredo di un precedente progetto, poco distanti dalle zone di costruzione dei due aerogeneratori in progetto

Per l'ubicazione delle indagini geognostiche si rimanda alla lettura dell'allegato 4.

A.3.1 L'indagine penetrometrica

Lo strumento con in quale sono state eseguite le prove penetrometriche presenta le seguenti caratteristiche:

- Peso del maglio ..... 63.5 kg
- Peso delle aste ..... 6.34 kg
- Altezza di caduta del maglio .....75 cm
- Sezione della punta a perdere .....20,43 cmq

[I dati ottenuti dalle prove penetrometriche sono stati poi elaborati con il software di interpretazione "Dynamic Probing 2015" della ditta Geostru srl, secondo le correlazioni dei vari autori, mediante il quale sono stati stimati i parametri geotecnici (vd. all. 4, per l'ubicazione delle prove, vd. all. 5 per l'interpretazione geotecnica ed i grafici)].

Le prove penetrometriche hanno riscontrato la seguente situazione stratigrafica:

- un primo strato, con spessore variabile da 2,80 mt. (DPSH1) a 4,20 mt. (DPSH2), caratterizzato dal substrato roccioso molto alterato/fratturato costituito da argilliti con intercalazioni di arenaria (prevalenti nell'area in esame) e calcare marnoso;
- un secondo strato, indagato fino alla profondità massima di 5,60 mt. nella prova DPSH2 prima del rifiuto alla penetrazione, costituito dal substrato roccioso da molto alterato/fratturato ad alterato/fratturato costituito da argilliti con intercalazioni di arenaria (prevalenti nell'area in esame) e calcare marnoso.

A.3.2 L'indagine geomeccanica

Sulla base dell'analisi geomeccanica eseguita sugli affioramenti presenti nell'area di studio e zone limitrofe, seguendo il seguente schema di Beniawsky (1973÷89) si ottiene l'indice BMR= N_{A+} N_B+ N_{C+} N_{D+} N_E = 45, per cui il substrato roccioso rientra nella classe ***"III"*** ovvero "***Mediocre***".

Schema di Beniawsky (1973÷1989)								
A	Resistenza roccia intatta	Point Load test (MPa)	>10	4÷10	2÷4	1÷2	Non applicabile	
		Resistenza compressione monoassiale (MPa)	>250	100÷250	50÷100	25÷50	5÷25	1÷5
	Indice "A"		15	12	7	4	2	1
B	RQD (%)		90÷100	75÷90	50÷75	25÷50	<25	
	Indice "B"		20	17	13	8	3	
C	Spaziatura Giunti		>2 mt.	0,6÷2 mt.	200÷600 mm	60÷200 mm	<60 mm	
	Indice "C"		20	15	10	8	5	
D	Condizione dei giunti		Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti leggermente alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completamente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura di 1 – 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti	
	Indice "D"		30	25	20	10	0	
E	Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	<10	10÷25	25÷125	>125	
		Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	<0,1	0.1÷0.2	0,2÷0,5	>0,5	
		Condizioni generali della roccia	Perfettamente asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua	
	Indice "E"		15	10	7	4	0	
BMR (Basic Mass Rating) = A+B+C+D+E = 45								
Proprietà meccaniche e comportamento degli ammassi rocciosi								
$N=\Sigma_{A\div E}$	<20	21÷40	41÷60	61÷80	81÷100			
CLASSE	V	IV	III	II	I			
QUALITA' AMMASSO	Molto scadente	Scadente	Mediocre	Buona	Ottima			
C (kg/cmq)	<1.02	1.02÷2.04	2.04÷3.06	3.06÷4.08	>4.08			
Φ	<15°	15°÷25°	25°÷35°	35°÷45°	>45°			

La variabilità del dato è dovuta prevalentemente agli effetti delle strutture tettoniche importanti, quali pieghe e fratture/faglie, che localmente possono produrre una maggiore o minore frammentazione della roccia.

A.3.3 Indagine Sismica

A.3.3.1 Indagine M.A.S.W.

Lo scopo dell'indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in oggetto è la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i.) e dagli eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La categoria del terreno consente di definire lo spettro di risposta sismico del sito e quindi di determinare le azioni sismiche agenti sulle opere che interagiscono con il terreno.

Qui di seguito vengono esposti i risultati dell'elaborazione condotta sulla stesa M.A.S.W.1 caratterizzata da uno stendimento a 24 geofoni con un'equidistanza tra i geofoni pari a 1,0 mt., con punti di energizzazione situati rispettivamente a 1,0 mt., 3,0 mt., 5,0 mt. e 8,0 mt. dal primo geofono. Lo spettro ottenuto con l'energizzazione a 1,0 mt. è risultato essere omogeneo e con una buona definizione dei modi di propagazione delle onde superficiali nel terreno (in questo caso specifico, modo fondamentale). Una volta ottenuto lo spettro delle velocità (vd. step 1 all. 5bis), si procede al picking dello spettro, "guidato" dalla modellazione diretta ottenuta sulla base delle conoscenze geologiche del sito (in questo caso le prove penetrometriche dinamiche super-pesanti ed i rilievi di campagna) in modo da ottenere una curva di dispersione più precisa (relativa in questo caso al solo modo fondamentale in quanto i modi superiori non sono stati evidenziati dallo spettro di velocità).

Effettuato il picking della curva di dispersione si passa alla curva di inversione, con spazio di ricerca basato sulla modellazione diretta (vd. step 2 all. 5bis).

Le elaborazioni ed i risultati ottenuti, riportati in forma estesa nell'allegato 5 bis, sono i seguenti:

Modello medio (mean model):

- VS (m/sec): *292 387 547 543*

- Spessori (mt.): *2.1 11.0 9.5*

*** *** ***

La sismica M.A.S.W. ha in definitiva individuato la presenza di tre strati principali, contraddistinti da differenti velocità delle onde "S", dalle seguenti caratteristiche:
- il primo strato, dallo spessore di circa 2,10 mt., con velocità delle onde "S" di 292 m/s, è ascrivibile al primo strato indagato dalle prove penetrometriche costituito dal substrato roccioso molto alterato/fratturato [argilliti con intercalazioni di arenaria (prevalenti nell'area in esame) e calcare marnoso];
- il secondo strato, dallo spessore di circa 11,00 mt., con velocità delle onde "S" di 387 m/s, è ascrivibile al substrato roccioso da molto alterato/fratturato ad alterato/fratturato [argilliti con intercalazioni di arenaria (prevalenti nell'area in esame) e calcare marnoso] indagato parzialmente dalle prove penetrometriche prima del rifiuto alla penetrazione;
- il terzo strato, con velocità delle onde "S" variabili da 543 m/s a 547 m/s, è ascrivibile al substrato roccioso da alterato/fratturato a poco alterato/fratturato [argilliti con intercalazioni di arenaria (prevalenti nell'area in esame) e calcare marnoso].

L'indagine M.A.S.W. ha raggiunto i 51 mt. di profondità.

A.3.3.2 Indagine sismica a rifrazione di repertorio.

Per il presente studio sono state prese in esame due stese sismiche a rifrazione in onde "P" (indicate in pianta come L.S.1r e L.S.2r) eseguite poco distanti dalle aree di costruzione dei due aerogeneratori per un precedente studio.

Le caratteristiche tecnico-strumentali del sismografo e del software di interpretazione utilizzati per tale indagine sono le seguenti:

- **PARAMETRI DI ACQUISIZIONE**

Durata acquisizione: 512 ms
Tempo di campionamento: 500 μs
Numero campioni per traccia: 1024
Filtro passa-basso: 250 Hz
Sorgente: mazza 8 kg

- **SISMOGRAFO: PASI 12S12L A 12 CANALI**

Principali caratteristiche tecniche:
- durata della registrazione: selezionabile da 32 a 4096 ms
- passo di campionamento: selezionabile da 260 μs a 2 ms
- filtri: low-pass (250 Hz), notch (50/60 Hz)
- computer interno con processore 486
- Delay: post-trigger 0-16000 ms

- Freeze: congelamento dell'acquisizione su un canale
- Enhancement con o senza "preview" totale/parziale
- Marker per la determinazione dei punti video sulla scala tempi
- visualizzazione delle tracce in formato "wiggle trace" o area variabile
- noise monitor con visualizzazione a cascata in tempo reale
- trace size automatica o manuale per ogni canale
- start acquisizione: trigger esterno o comando via software (ASAP)
- trigger: hammer switch
- guadagni: selezionabili via software
- registrazione automatica delle acquisizioni
- calibrazione automatica
- trattamento dati: floating point 32-bit
- geofoni 10 Hz

➢ **SOFTWARE INTERPRETAZIONE DATI: "WINSISM 8.2"**

Caratteristiche principali:

- possibilità di riconoscimento di più rifrattori
- possibilità di utilizzo di più shot, per un massimo di 48 con 96 geofoni per ogni energizzazione
- metodi di interpretazione utilizzati nel corso del presente lavoro: metodo del tempo intercetto.

I dati relativi alle due stese, sono invece i seguenti:

❖ **ELEMENTI DELLA STESA 1**

NUMERO DI GEOFONI: 12
Numero di shot: 7
DISTANZA FRA I GEOFONI: 2 M

Posizione shot

Numero	X (m)	Z (m)
1	-12	2.48
2	0	0
3	6	-0.99
4	12	-1.68
5	18	-2.38
6	24	-3.08
7	36	-4.48

Posizione geofoni e tempi letti (ms)

N°	X (m)	Z (m)	Shot1	Shot2	Shot3	Shot4	Shot5	Shot6	Shot7
1	1	-0.1	24.2	1.5	9.89	17.29	23.2	27.7	37
2	3	-0.48	25.7	9.39	7.4	15.8	21.7	26.2	36.09
3	5	-0.84	27.7	14.3	1.5	10.89	17.29	22.7	32.09
4	7	-1.14	29.1	17.29	1	9.39	15.3	20.29	29.6
5	9	-1.35	30.6	19.29	7.4	6.9	14.3	18.79	29.1
6	11	-1.56	31.6	20.7	8.89	1.5	12.3	16.29	27.2
7	13	-1.8	33.09	22.2	10.39	2	9.89	15.8	26.2
8	15	-2.03	34.59	23.2	13.3	6.9	7.4	14.3	24.7
9	17	-2.26	35.09	25.2	14.8	9.89	1.5	11.39	22.2
10	19	-2.5	36.59	27.7	17.79	12.3	1.5	8.89	21.2
11	21	-2.73	38	29.6	19.29	13.8	7.4	5.9	18.79
12	23	-2.96	40	30.1	20.29	15.3	9.39	1.5	16.79

Profondità rifrattore in corrispondenza degli shot

N°shot	Profondità (mt.)
2	2.31
3	1.81
4	1.64
5	1.47
6	1.03

❖ **ELEMENTI DELLA STESA 2 (aerogeneratore 2)**

NUMERO DI GEOFONI: 12
Numero di shot: 7
DISTANZA FRA I GEOFONI: 2 M

Posizione shot

Numero	X (m)	Z (m)
1	-12	-2.25
2	0	0
3	6	0.6
4	12	1.35
5	18	2.15
6	24	3.15
7	36	5.45

Posizione geofoni e tempi letti (ms)

N°	X (m)	Z (m)	Shot1	Shot2	Shot3	Shot4	Shot5	Shot6	Shot7
1	1	0.13	22.2	1.5	10.39	16.29	20.29	26.7	32.59
2	3	0.4	24.2	6.4	6.4	15.8	19.29	25.7	31.6
3	5	0.53	25.2	10.39	1.5	12.8	17.29	24.7	31.1
4	7	0.72	26.2	14.3	1.5	9.89	14.8	21.7	29.6
5	9	0.95	27.7	16.29	7.4	7.4	12.8	18.79	28.2
6	11	1.22	29.1	16.79	9.39	1.5	10.39	17.79	27.7
7	13	1.48	31.1	19.79	11.39	2	9.39	16.29	27.2
8	15	1.75	31.6	20.7	14.8	7.9	5.4	11.89	23.2

9	17	2.02	33.09	22.7	16.79	11.39	1.5	11.89	22.2
10	19	2.32	34.09	24.2	17.79	12.8	1.5	9.89	20.7
11	21	2.65	35.09	24.7	19.79	14.3	4.9	7.4	19.79
12	23	2.98	37.5	26.2	22.7	17.79	8.89	1.5	19.29

Profondità rifrattore in corrispondenza degli shot

N°shot	Profondità (mt.)
2	2.65
3	2.29
4	1.38
5	1.14
6	0.93

Le due linee sismiche a rifrazione hanno evidenziato la presenza di due strati:

- Il primo strato superficiale è caratterizzato da basse velocità, variabili dai 337 m/sec della L.S. n° 1 a 547 m/sec. della L.S. n° 2;
- Il secondo strato è invece caratterizzato da più elevate velocità, variabili da 819 m/sec della L.S. n° 2 a 1278 m/sec della L.S. 1. Tale strato, visti i risultati dei rilievi di campagna, delle prove penetrometriche in situ di repertorio e delle trivellazioni/scavi per la posa delle fondazioni dei due aerogeneratori esistenti, è interpretabile come roccia da molto alterata/fratturata ad alterata/fratturata.

*** *** ***

I dati desunti dalle indagini geognostiche effettuate per il presente studio e i dati delle indagini sismiche di repertorio sono fra loro ben correlabili.

Sulla base dei dati desunti e correlati dalle indagini geognostiche, è stato possibile ricostruire il modello geologico del sottosuolo che è riportato in dettaglio nella sezioni geologico-tecniche ***dell'allegato 6****.*

A.3.4 Parametri geotecnici del terreno

Sulla base dell'elaborazione dei dati delle prove penetrometriche e sulla base dell'analisi geomeccanica, per quanto riguarda l'ammasso roccioso, e della ricerca bibliografica, si ottengono i seguenti parametri geotecnici:

	Peso di volume **(t/mc)**		
	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Substrato roccioso molto alterato/fratturato	**1,79**	**1,81**	**1,80**
Substrato roccioso da molto alterato/fratturato ad alterato e fratturato	**2,08**	**2,08**	**2,08**
Substrato roccioso da alterato/fratturato a poco alterato/fratturato	**2,20**	**2,20**	**2,20**
	Peso di volume saturo **(t/mc)**		
	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Substrato roccioso molto alterato e molto fratturato	**1,93**	**1,93**	**1,93**
Substrato roccioso alterato e fratturato	**2,49**	**2,49**	**2,49**
Substrato roccioso da alterato/fratturato a poco alterato/fratturato	**2,20**	**2,20**	**2,20**
	Angolo di attrito **(°)**		
	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Substrato roccioso molto alterato e molto fratturato	**28,35**	**28,69**	**28,52**
Substrato roccioso alterato e fratturato	**34,50**	**34,64**	**34,57**
Substrato roccioso da alterato/fratturato a poco alterato/fratturato	**35,00**	**40,00**	**37,50**
	Coesione **(Kg/cmq)**		

	Valore minimo	Valore massimo	Valore medio
Substrato roccioso molto alterato e molto fratturato	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Substrato roccioso alterato e fratturato	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Substrato roccioso da alterato/fratturato a poco alterato/fratturato (Bibliografia)	**1,50 (caut.)**	**2,50 (caut.)**	**2,00 (caut.)**

I valori medi sopra riportati sono da considerare caratteristici per il sito e l'intervento in esame, per cui potranno essere utilizzati per il calcolo del Carico Limite e della Resistenza di progetto (Rd).

Viste le caratteristiche idrogeologiche dei terreni in esame, in via cautelativa, l'elaborazione dei parametri geotecnici inerenti le prove penetrometriche è stata eseguita considerando il terreno saturo sino a piano campagna.

[Nell'elaborazione dei dati i due stati (roccia molto alterata e molto fratturata e roccia alterata e fratturata) sono stati assimilati cautelativamente, fatta eccezione per la coesione, a terreni sabbioso-limosi e ghiaioso-sabbiosi moderatamente densi- densi (vd. all. 5, dove sono riportati per esteso i parametri geotecnici)].

A.4 Analisi sismica sito-specifica (D.M. 14.01.2008)

A.4.1 Categoria del sottosuolo di fondazione e coefficiente sismico di amplificazione stratigrafica (Ss)

Elaborando i dati delle "Vs", si ottiene il valore delle "V_{s30}" di cui al D.M. 14/01/08 e relativa circolare n° 617/09, con la seguente formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum h_i/v_i \quad (\text{con } i = 1,N)$$

[dove N è il numero degli strati compresi nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano di fondazione]

Tenendo conto della presenza di 2 strati con velocità delle onde "S" variabili da 292 m/s a 547 m/s, la velocità delle onde "S" nei primi 30,0 mt. di terreno da piano campagnaè la seguente:

$$V_{S30} = 452 \text{ m/s}$$

Di conseguenza, esaminando la tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo) del paragrafo 3.2.2 del D.M. 14.01.2008 ***il suolo di fondazione è inseribile in CATEGORIA "B"*** *ovvero: (360 m/s < V_{S30} < 800 m/s).*

A.4.2 Categoria topografica e coefficiente sismico di amplificazione topografica S_T

Il fattore di correzione topografica S_T si ottiene utilizzando la tabella *3.2.IV del D.M. 14.01.08 (tabella 1 seguente)*, che definisce, sulla base delle caratteristiche della superficie topografica, la categoria topografica, in questo caso T3. *Per tale categoria topografica, utilizzando* la tabella *3.2.VI del D.M. 14.01.08 (tabella 1 seguente) in relazione all'ubicazione dell'opera in progetto sul versante, si ottiene quindi il seguente valore massimo del coefficiente sismico di amplificazione topografica* $S_T = 1,2$.

Tabella 3.2.IV (NtC '08) *Categorie topografiche*		*Tabella 3.2.VI (NTC'08)* *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST*	
Categoria topografica	**Caratteristiche della superficie topografica**	**Ubicazione dell'opera o dell'intervento**	**S_T**
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i < 15°	—	1
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media > 30°	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 1

[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 di altezza maggiore di 30,0 mt..]

Tuttavia, effettuata la valutazione sito-specifica utilizzando le schede di valutazione proposte da F. Pergalani e M Compagnoni (Rischio sismico nella Lombardia Orientale, 2007) del Politecnico di Milano (vd. all. 7), effettuando le sezioni morfologiche del versante sul quale ricadono le due pale in progetto, i Coefficienti di amplificazione topografica "*Fa*" risultano essere i seguenti:

- Aerogeneratore Sezione A-A' (vd. all. 7):

Fa = 1,29

- Aerogeneratore Sezione B-B' (vd. all. 7):

Fa = 1,20

Visti i risultati della valutazione sito-specifica, si consiglia quindi di adottare ***$S\tau = 1,29$*** *per la pala situata in prossimità della sezione morfologica AA', e* ***$S\tau = 1,20$*** *per la pala situata in prossimità della sezione morfologica BB'.*

A.4.3 Parametri e coefficienti sismici

I dati sismici sito-specifici ottenuti dall'indagine sono i seguenti:

- ***Edificio di classe 3*** (edificio con affollamento significativo)
- ***Vita nominale dell'opera: 100 anni***
- ***Categoria del sottosuolo: "B"***
- ***Categoria topografica: T3 (St=1,29; St=1,20 con valutazione sito-specifica)***

A.4.4 Considerazioni sulla suscettività di liquefazione del terreno in caso di sisma

Al di là di quanto previsto dal D.M. 11.01.2008 (paragrafo 7.11.3.4.2), che raccomanda la verifica alla liquefazione per i terreni, tenuto conto che gli aerogeneratori verranno fondati sul substrato roccioso, si può escludere il fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

A.5 Verifica di stabilità del versante

Correlando i dati desunti dai rilievi in situ e dall'elaborazione dei dati delle indagini geognostiche, è stato possibile ricostruire due sezioni geologiche estese sulle quali sono state effettuate delle verifiche di stabilità del versante (vd. all. 8), utilizzando il software SSAP 2010, versione 4.6.9 (2015) che permette di effettuare i calcoli secondo le formule di diversi autori, tenendo conto della sismicità dell'area come da D.M. 14.01.2008.

In particolare, per motivi legati alla struttura del software che male si presta per una verifica di stabilità che comprenda una così marcata zona di crinale, per ognuna delle due sezioni geologiche eseguite sono state effettuate le verifiche di stabilità sia sul versante in sponda ligure che sul versante in sponda emiliana.

Nella sezione il terreno è stato suddiviso in due strati:
- il primo strato, coincidente col primo strato riportato nelle sezioni geologico-tecniche dell'allegato 6 (figg. 1, 2);
- il secondo strato, in via cautelativa, comprende il secondo ed il terzo strato riportati nelle sezioni geologico-tecniche dell'allegato 6 (figg. 1, 2), inserendo cautelativamente i parametri geotecnici del secondo strato.

Le verifiche sono state effettuate sia in assenza di falda che ipotizzando la totale saturazione da pioggia del terreno: tuttavia si sottolinea che tale ipotesi è da considerarsi molto cautelativa per i versanti in esame, poiché l'area di costruzione dei due aerogeneratori è posta in prossimità dello spartiacque appenninico, quindi sempre ben drenata.

Le verifiche di stabilità del versante sono state eseguite secondo la NTC di cui al D.M. 14.01.2008, in particolare secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (**A2+M2+R2**) con **R2**=1,1.

Per tali verifiche sono stati presi in esame i parametri geotecnici medi riportati nella tabella di cui al paragrafo A.3.4. A tali parametri, come da N.T.C. '08, sono stati applicati i relativi coefficienti parziali di sicurezza (M2 nel presente caso).

Per quanto riguarda il secondo strato, sono stati utilizzati i parametri geotecnici secondo la caratterizzazione geomeccanica basata sul criterio di rottura di Hoek (2002), applicata ad ammassi rocciosi fratturati, che introduce i seguenti parametri:

- Sigci = Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta, ricavata nel presente caso dallo schema di Beniawsky riportato nel paragrafo A.3.2.;
- GSI = Geological Strenght Index dell'ammasso roccioso, ricavato da apposite tabelle;
- m_i = Indice litologico ammasso roccioso, ricavato da apposite tabelle;
- D = Fattore di disturbo ammasso roccioso che variando da 0 a 1 rappresenta il grado di disturbo indotto da operazioni di scavo meccanico o esplosivi, posto uguale a 0 nel presente caso.

Il metodo di calcolo utilizzato per le verifiche è quello di Morgestern-Price (1965): in particolare sono state eseguite delle verifiche globali dei versanti interessati dalla costruzione dei due aerogeneratori.

Le analisi di stabilità hanno evidenziato come tutte le superfici di scivolamento esaminate con fattore di sicurezza inferiore al valore di legge (Fs>1,1), sia in assenza di falda che con totale saturazione del terreno, ricadano sostanzialmente nel primo strato costituito dal substrato roccioso molto alterato/fratturato. Solo alcune superfici possono interessare una poco spessa porzione più superficiale del secondo strato.

In particolare, i valori delle superfici di scivolamento con minor Fs ottenuti sono i seguenti:

- Sezione AA' (versante ligure con totale saturazione del terreno): **Fs = 0,320;**
- Sezione AA' (versante ligure con assenza di falda): **Fs = 0,907;**
- Sezione AA' (versante emiliano con totale saturazione del terreno): **Fs = 0,100;**
- Sezione AA' (versante emiliano con assenza di falda): **Fs = 0,521;**
- Sezione BB' (versante ligure con totale saturazione del terreno): **Fs = 0,177;**
- Sezione BB' (versante ligure con assenza di falda): **Fs = 0,680;**
- Sezione BB' (versante emiliano con totale saturazione del terreno): **Fs = 0,3520;**
- Sezione BB' (versante emiliano con assenza di falda): **Fs = 0,951.**

Tale analisi è di fondamentale importanza in quanto è ben evidente come il primo strato roccioso indagato dalle indagini geognostiche risulti potenzialmente instabile sia in condizione di totale saturazione da pioggia del terreno che in assenza di falda. Ciò è dimostrato anche dalla presenza sul versante emiliano, ma anche sul versante ligure, di frane attive

B. L'intervento in progetto, prescrizioni e conclusioni

L'intervento in progetto consiste nella costruzione di due aerogeneratori (vd. all. 4 e 4 bis).

Per la costruzione dei due aerogeneratori i progetto prevede la posa in opera di grossi plinti di fondazione (per le loro dimensioni si rimanda agli schemi strutturali allegati al progetto).

La situazione geologica, geomorfologica, stratigrafica e geotecnica, ha evidenziato la presenza di un primo strato con discreto spessore caratterizzato da substrato roccioso molto alterato e molto fratturato.

Tenuto conto delle verifiche di stabilità che hanno evidenziato la potenziale instabilità di questo strato, ed in parte della porzione più superficiale del secondo strato, si ritiene che i plinti di fondazione debbano essere impostati su micropali, in modo da ancorare le strutture in progetto ben dentro il substrato roccioso profondo, evitando così che i plinti di fondazione possano essere interessati da eventuali puntuali movimenti franosi interessanti i primi metri di roccia molto alterata/fratturata. In particolare si consiglia di raggiungere, con i micropali, il terzo strato indagato dalla stesa sismica M.A.S.W. costituito da caratteristiche geotecniche che migliorano con l'aumentare della profondità (in particolare la coesione) posto a circa 13 mt. dal piano campagna; sarà tuttavia opportuno eseguire, per ogni aerogeneratore, almeno un sondaggio pilota, per verificare puntualmente l'esattezza della previsione stratigrafico-geotecnica riportata nelle due sezioni allegate alla presente relazione, onde potersi adattare ad eventuali anomalie.

Si consiglia inoltre di garantire, durante le varie fasi di lavorazione, il drenaggio delle acque meteoriche ed eventualmente di falda, in modo da evitarne il ristagno. Le acque eventualmente raccolte e/o intercettate durante gli scavi, potranno essere facilmente allontanate convogliandole nei vari impluvi presenti nei dintorni dell'area di costruzione.

In particolare, per quanto riguarda la realizzazione della strade di cantiere, si consiglia di impostarle per quanto possibile sul versante ligure, meno acclive, in modo da non alterare lo spartiacque appenninico. Nel caso ciò non fosse possibile, si raccomanda di impostare due cunette laterali lungo tutto il tracciato stradale di crinale (coincidente con lo spartiacque appenninico) in modo che la cunetta lato ligure convogli le acque nel versante ligure e la cunetta lato Emilia-Romagna riceva le acque meteoriche di competenza del bacino idrografico emiliano. In tal modo non verranno provocati squilibri idrologici. Lungo la strada di cantiere sarà buona norma porre in opera delle strutture rompi-deflusso (tipo traverse in legno), poste a lisca di pesce, in modo da deviare le acque captate dalla strada di cantiere verso le cunette laterali.

Tenuto conto delle indicazioni sopra indicate, vista la situazione geologico-geomorfologica e idrogeologico-geotecnica, si ritiene che non sussistano particolari problemi che impediscano o mettano a rischio le opere in progetto.

In fede
dott. geol. Massimo Morachioli

Castelnuovo Magra, 04.01.2016

(fontenergia srl)

ALLEGATI