

# REGIONE MARCHE

Comuni di San Severino Marche e Serrapetrona (MC)

## PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO  
EOLICO DELLA POTENZA DI 36,0 MW  
e delle relative opere di connessione alla RTN sito nei comuni di San  
Severino Marche, Serrapetrona, Castelraimondo e Camerino (MC)

TITOLO

Calcoli preliminari sulle strutture

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	
 SR International S.r.l. C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004 	 Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l. Viale Castro Pretorio, 122 - 00185 Roma C.F e P.IVA 15604711000	

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	15/07/2022	Pompili	Bartolazzi	F.O. Renewables	Calcoli preliminari sulle strutture

N° DOCUMENTO

FLS-SSV-CPS

SCALA

--

FORMATO

A4

## INDICE

INDICE.....	1
INDICE DELLE FIGURE .....	1
INDICE DELLE TABELLE.....	2
1   PREMESSA.....	3
2   DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	3
3   UBICAZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO .....	3
4   NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
5   ELEMENTI DELL'IMPIANTO EOLICO .....	5
5.1 AEROGENERATORI.....	5
5.2 FONDAZIONI .....	7
6   MATERIALI IMPIEGATI .....	7
7   INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	9
7.1 SISMICITA' .....	9
7.2 STRATIGRAFIA .....	11
8   PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI .....	12
8.1 REALIZZAZIONE INDAGINI.....	12
8.2 CONSIDERAZIONI DI TIPO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	13
8.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	14
9   ANALISI DEI CARICHI .....	14
10  AZIONI SULLA STRUTTURA.....	14
11  PERICOLOSITÀ SISMICA .....	15
12  COMBINAZIONI DI CARICO .....	17
13  MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI .....	18
14  VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI.....	18
14.1 CARICO LIMITE FONDAZIONE .....	20
14.2 VERIFICHE STRUTTURALI .....	21
15  CONCLUSIONI FINALI .....	22

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Localizzazione dell'impianto eolico .....	4
Figura 2 – Vista frontale e laterale dell'aerogeneratore V162 – 6,0 .....	6
Figura 3 – Specifiche tecniche dell'aerogeneratore V162 – 6,0 .....	6

Figura 4 – Tipico fondazione .....	7
Figura 5 – Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio .....	8
Figura 6 – Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo .....	8
Figura 7 – Fascia sismologica del sito in esame .....	10
Figura 8 – Caratteristiche delle strutture sismogenetiche del sito in esame .....	10
Figura 9 – Descrizione litologica delle aree omogenee presenti al di sotto dei piloni n° 1, 6 e 7 ..	11
Figura 10 – Descrizione litologica delle aree omogenee presenti al di sotto dei piloni n° 2, 3, 4 e 5 ..	12
Figura 11 – Classificazione sismica .....	16
Figura 12 – Pericolosità sismica.....	16
Figura 13 – Parametri sismici .....	16
Figura 14 – Combinazioni di carico.....	17

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1 – Raggruppamento siti indagini geognostiche .....	13
Tabella 2 – Coefficienti parziali per le azioni (D.M.2018) .....	19
Tabella 3 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici (D.M.2018) .....	19
Tabella 4 – Coefficienti parziali per le verifiche SLU fondazioni superficiali (D.M.2018).....	20
Tabella 5 – Coefficienti parziali per le verifiche SLU fondazioni su pali (D.M.2018) .....	20

## **1 PREMESSA**

Il presente progetto ha come obiettivo la realizzazione di una centrale per la produzione di energia da fonte rinnovabile tramite l'impiego di tecnologia eolica. La realizzazione dell'opera prevede l'installazione di n.7 aerogeneratori, modello Vestas V162-6,0, della potenza unitaria di 6,0 MW depotenziata a 5,14 MW per una potenza totale di 36,0 MW. Tuttavia non si esclude la possibilità di ricorrere ad alcune varianti progettuali per incrementare la produttività dell'impianto, anche in funzione dei futuri sviluppi di mercato.

Soggetto responsabile del parco eolico, denominato "Energia Monte San Pacifico" e delle opere di connessione alla nuova Stazione di Smistamento della RTN (SE) a 132 kV, da inserire in entrata - esce alle linee a 132 kV RTN "Valcimarra - Camerino" e "Valcimarra - Cappuccini" esistenti, da potenziare, è la società *Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l.* che ha come attività principali lo sviluppo, la progettazione, l'installazione, la commercializzazione, la gestione e la vendita di energia elettrica generata da fonti rinnovabili. La società ha sede a Roma, in Viale Castro Pretorio n. 122 - CAP 00185, C.F. e P.IVA 15604711000.

*SR International S.r.l.* è una società di consulenza e progettazione operante nel settore delle fonti di energia rinnovabili, in particolare solare ed eolica. Per la realizzazione del progetto in esame essa funge da soggetto di riferimento per il supporto tecnico-progettuale.

L'impianto in progetto comporta un significativo contributivo alla produzione di energia rinnovabile; l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale di proprietà della società Terna S.p.A.

## **2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

Si riporta, di seguito, l'elenco della documentazione di riferimento per la presente relazione:

- FLS-SSV-GEO-Relazione geologica;
- FLS-SSV-IE.12- Schema tipo del plinto di fondazione dell'aerogeneratore;
- FLS-SSV-ROC- Relazione specialistica opere civili.

## **3 UBICAZIONE DELL'IMPIANTO EOLICO**

Il sito ove si prevede di realizzare l'impianto eolico denominato Parco Eolico "Energia Monte San Pacifico", avente un valore di potenza complessiva installata pari a 36,0 MW, è ubicato in Provincia di Macerata, all'interno dei territori comunali di San Severino Marche e Serrapetrona.

L'area di progetto è ubicata in zona montana appenninica, geomorfologicamente posta alla sommità di un rilievo, ad una quota compresa tra 782 m e 703 m s.l.m. L'aerogeneratore più vicino al centro abitato di San Severino Marche (MC) è localizzato ad una distanza di circa 1,9 km, mentre leggermente inferiore è la distanza che si rileva tra il più prossimo aerogeneratore (T7) e il centro urbano di Serrapetrona (MC) a circa 1,6 km. L'area della Stazione Utente di Trasformazione 30/132 kV e della nuova Stazione Elettrica di Smistamento della RTN a 132 kV sono ubicate ad una distanza di circa 1 km dal centro abitato di Camerino (MC).

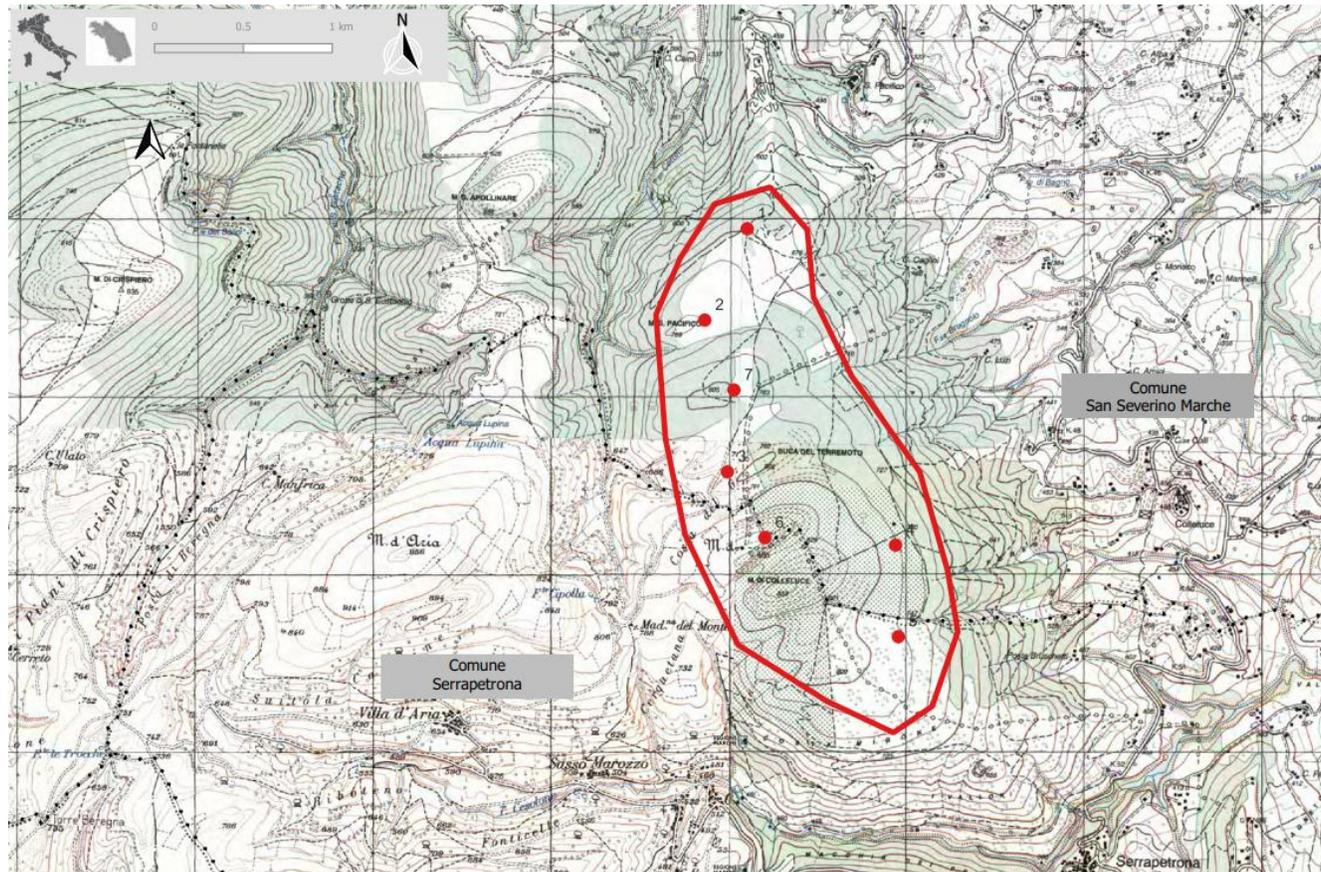


Figura 1 – Localizzazione dell'impianto eolico

#### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

##### NORMATIVA NAZIONALE

- **Legge 5 novembre 1971 n. 1086** (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321) "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- **Legge 2 febbraio 1974 n. 64** (G. U. 21 marzo 1974 n. 76) "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche". Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981;
- **D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018** (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8) "Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni";
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti** (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.) "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

## **NORMATIVA INTERNAZIONALE**

- **UNI 9858** "Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria.
- **UNI ENV 1992-1-1 del 31-01-1993 Eurocodice 2.** Progettazione delle strutture di calcestruzzo.

## **5 ELEMENTI DELL'IMPIANTO EOLICO**

Il parco eolico sarà costituito da n.7 aerogeneratori aventi ciascuno una potenza nominale di 6 MW, depotenziata a 5,14 MW, modello V162 Vestas, con rotore da 162 m, altezza dal mozzo pari a 125 m, per un totale di 206 m dal suolo.

Gli altri elementi principali del sistema eolico in progetto sono:

- *Viabilità e piazzole;*
- *Fondazioni;*
- *Cabina di raccolta;*
- *Cavi elettrici;*
- *Stazione utente di trasformazione 30/132 kV;*
- *Stazione di smistamento (SE) RTN.*

### **5.1 AEROGENERATORI**

Per il layout d'impianto è stato scelto un modello di aerogeneratore adatto alla tipologia ed alla ventosità del sito, ossia il modello Vestas V162 – 6,0 MW. Tale aerogeneratore sarà depotenziato fino ad arrivare ad una potenza di circa 5,14 MW. Le principali specifiche tecniche dell'aerogeneratore scelto sono riportate nelle figure successive.

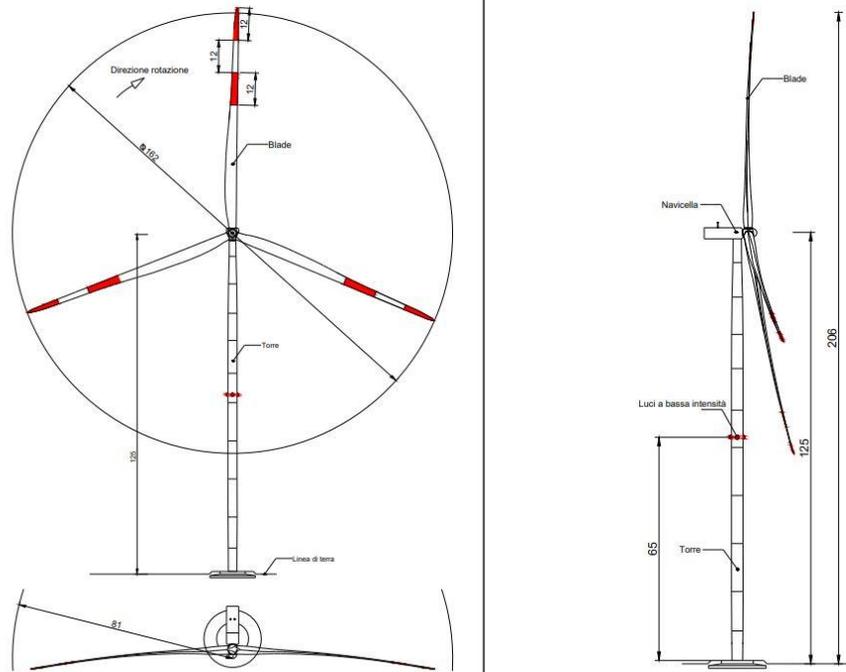


Figura 2 – Vista frontale e laterale dell'aerogeneratore V162 – 6,0

Rotor	V150	V162	Gearbox	
Diameter	150 m	162 m	Type	2 Planetary stages
Swept Area	17671 m <sup>2</sup>	20612 m <sup>2</sup>	Gear House Material	Cast
Speed, Dynamic Operation Range	4.9 - 12.6 rpm	4.3 - 12.1 rpm	Lubrication System	Pressure oil lubrication
Rotational Direction	Clockwise (front view)		Total Gear Oil Volume	800-1000 L
Orientation	Upwind		Oil Cleanliness Codes	ISO 4406-/15/12
Tilt	6°		Yaw System	
Hub Coning	6°		Type	Plain bearing system
No. of Blades	3		Material	Forged yaw ring heat-treated. Plain bearings PETP
Aerodynamic Brakes	Full feathering		Yaw gear type	Multiple stages planetary gear
Blades	V150	V162	Yawing Speed (50 Hz)	Approx. 0.4°/sec.
Blade Length	73.65 m	79.35 m	Yawing Speed (60 Hz)	Approx. 0.5°/sec.
Maximum Chord	4.2 m	4.3 m	Towers	
Chord at 90% blade radius	1.4 m	1.68 m	Type	Tubular steel towers Larger diameter steel towers Concrete Hybrid Towers
Type Description	Structural airfoil shell		Hydraulic System	
Material	Fibreglass reinforced epoxy, carbon fibres and Solid Metal Tip (SMT)		Main Pump	Redundant internal-gear oil pumps
Blade Connection	Steel roots inserted		Pressure	Max. 260 bar
Airfoils	High-lift profile		Filtration	3 µm (absolute) 40 µm in line
Pitch System				
Type	Hydraulic			
Number	1 cylinder per blade			
Range	-5° to 95°			

Figura 3 – Specifiche tecniche dell' aerogeneratore V162 – 6,0

## 5.2 FONDAZIONI

Le fondazioni tipo di ciascun aerogeneratore sono costituite da una posa di calcestruzzo a base circolare di diametro di circa 26 m, ed alta complessivamente 3,9 m dal piano di campagna, con 14 pali di fondazione del diametro di 1,0 e lunghezza pari a 25 m, come riportato nella figura successiva.

Nell'eventualità che, dalle indagini geotecniche in situ, venga stimata una tensione ammissibile troppo bassa sarà necessario ricorrere a fondazioni su pali di sostegno il cui dimensionamento verrà calcolato in seguito in funzione dei parametri forniti dalle stesse prove geotecniche in sede di progetto esecutivo. Tale provvedimento è comunque consigliabile per ridurre i cedimenti differenziali presenti a motivo delle disomogeneità e discontinuità del terreno. Qualora le caratteristiche dei terreni di fondazione siano particolarmente scadenti si potrebbe anche ricorrere ad interventi di consolidamento del terreno del tipo Jet Grouting.

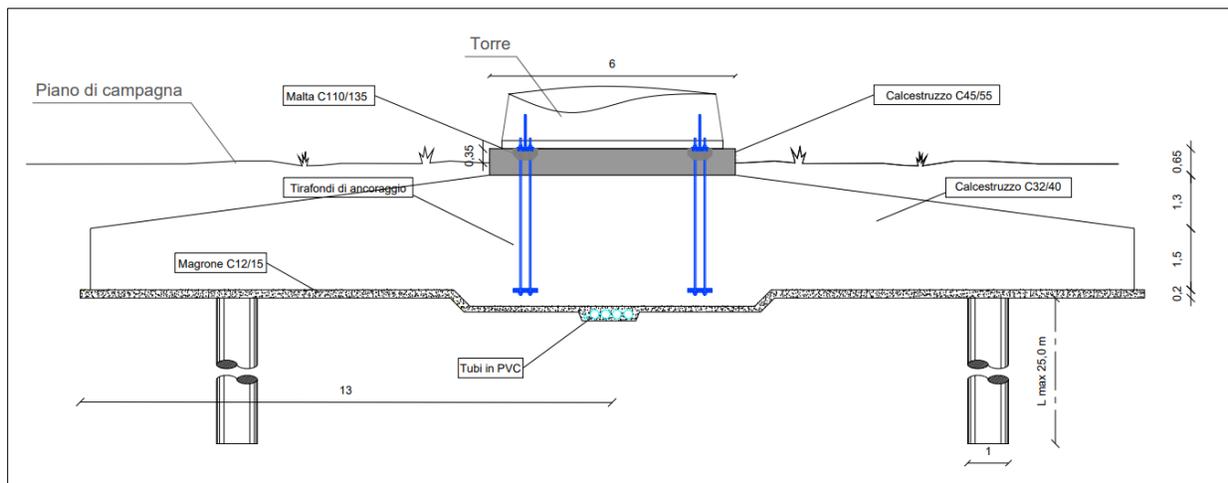


Figura 4 – Tipico fondazione

## 6 MATERIALI IMPIEGATI

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente, particolare attenzione è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera.

Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

- **ACCIAIO**

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in figura sottostante.

L'acciaio (comprese eventuali reti elettrosaldate) per conglomerato cementizio armato sarà del tipo B450 C con  $f_{yk}$  pari a 450 MPa.

La resistenza di calcolo è data da  $f_{yk}/\gamma_f$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_f$  si assume pari a 1,15.

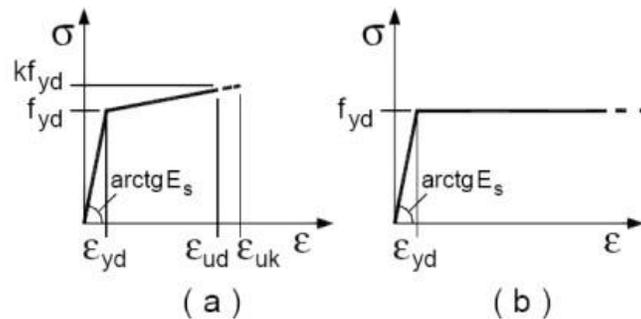


Figura 5 – Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio

- **CALCESTRUZZO**

Il conglomerato cementizio impiegato sarà del tipo C32/40 per quanto concerne le platee di fondazione degli aerogeneratori, del tipo C45/55 per la parte centrale e per le strutture di sottofondazione sarà utilizzato un conglomerato cementizio del tipo C12/15.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.1 del D.M. 2018:

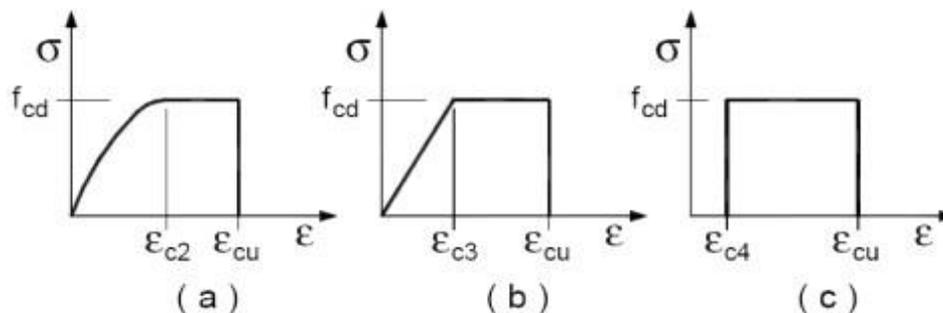


Figura 6 – Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

I valori di deformazione assunti sono:

$$ec2 = 0,0020;$$

$$ecu2 = 0,0035.$$

## **7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

La struttura geologica generale che caratterizza il sito è rappresentata da un anticlinale-antiforme, con sviluppo NO-SE. Tale struttura presenta infatti nella parte centrale, a quote più elevate, i termini della successione marchigiana più antichi (Scaglia rossa), mentre nelle aree laterale, a quote minori si rinvencono termini rocciosi più recenti (Scaglia cinerea e variegata). Tale struttura è la conseguenza di un esteso sovrascorrimento con asse in direzione appenninica NO-SE localizzabile a est. La presenza del sovrascorrimento è dimostrata dall'assetto delle giaciture del substrato, a ovest le giaciture immergono a 210°- 270°, nella parte più alta dell'anticlinale, in corrispondenza dell'area di progetto, le giaciture sono piano parallele, a ovest invece gli strati divengono rovesci.

Il parco eolico in progetto si trova sull'asse dell'anticlinale sopra descritta, dove affiorano diffusamente i termini calcarei e marnosi della Successione Umbro-Marchigiana che risultano fortemente fratturati, fagliati e piegati, in alcuni casi, nelle aree ad est, rovesciati. La fratturazione della roccia è intensiva in superficie, in alcuni casi conferisce al substrato le caratteristiche di un detrito. La roccia in posto, anche in profondità, rimane comunque intensamente fratturata, a causa dell'azione che la tettonica che ha impresso all'area. Il substrato che caratterizza il sito è rappresentato principalmente dalla formazione della Scaglia Rossa.

### **7.1 SISMICITA'**

L'Appennino umbro-marchigiano è inglobato in un complesso sistema di strutture sismogenetiche, gran parte dell'area marchigiana, caratterizzata da discreta sismicità, è interposta fra due fasce sismiche. La fascia sismica occidentale (918), corrispondente alla più esterna tra le zone sismogenetiche dell'Appennino umbro-marchigiano e la fascia sismica orientale (svilupata soprattutto in offshore 917). La parte più occidentale della regione Marche, ove insiste l'area di edificazione, è interessata dalla fascia sismogenetica 918, dove lo studio dell'assetto geometrico delle strutture sismiche e degli eventi da esse generati ha portato alla compartimentazione di strutture sismogenetiche volumetricamente modeste, che non sono in grado di generare, terremoti di magnitudo maggiore di:

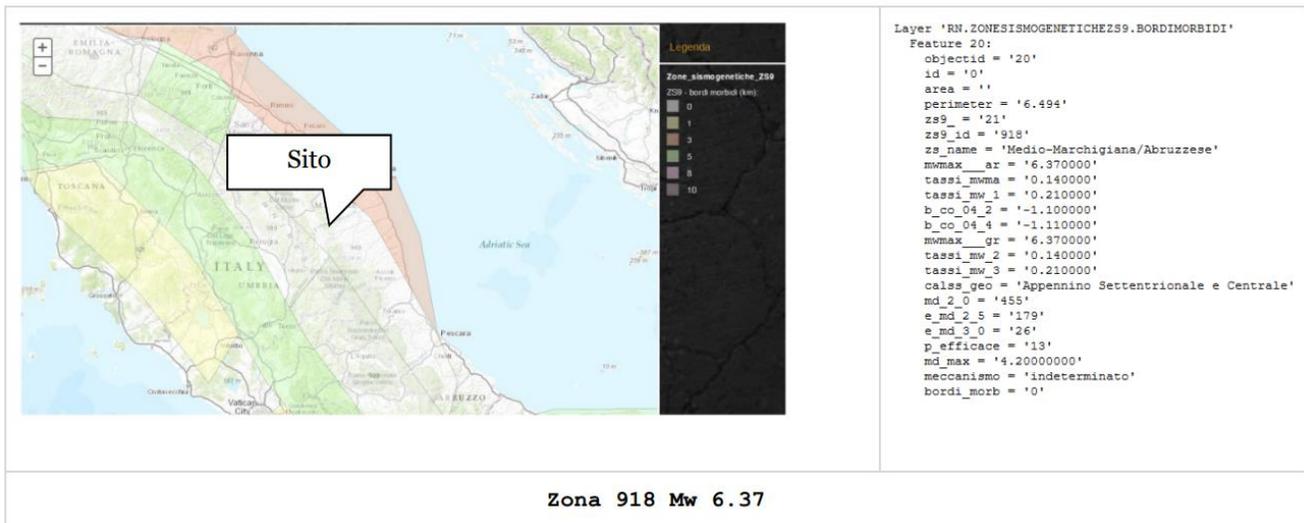


Figura 7 – Fascia sismologica del sito in esame

Di seguito le principali strutture che raggruppate per caratteristiche simili caratterizzano la Zona 918.

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS027		
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga		
Compiler(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), Mariano S.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	08-Jan-2005		
Updated	17-May-2012		
Display map ...			
Related sources	<a href="#">ITIS058</a> <a href="#">ITIS047</a> <a href="#">ITIS048</a> <a href="#">ITIS049</a> <a href="#">ITIS055</a> <a href="#">ITIS135</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).
<small>LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;</small>			

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITIS049		
Name	Camerino		
Compiler(s)	Mariano S.(1)		
Contributor(s)	Valensise G.(1), Burrato P.(1), Mariano S.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica, Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	31-May-2005		
Updated	31-May-2005		
Display map ...			
Related sources	<a href="#">ITCS027</a>		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Location [Lat/Lon]	43.16 / 13.10	LD	Primarily based on the location of the associated earthquake.
Length [km]	8.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.0	OD	Based on geological cross sections.
Min depth [km]	14.0	OD	Based on geological cross sections.
Max depth [km]	16.1	OD	Based on geological cross sections.
Strike [deg]	160	OD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Dip [deg]	20	OD	Based on structural geology and geological data from various authors.
Rake [deg]	90	EJ	Inferred from geological data.
Slip Per Event [m]	0.4	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	800...4000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.8	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
<small>LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;</small>			

Figura 8 – Caratteristiche delle strutture sismogenetiche del sito in esame

## 7.2 STRATIGRAFIA

La litostratigrafia di seguito mostrata è stata ricavata da indagini indirette eseguite nell'area. Sono state eseguite indagini basate sulle variazioni litologiche, desunte dalla lettura delle carte geologiche disponibili e confutate con le indagini sismiche indirette al fine di caratterizzare tutte le possibili combinazioni litostratigrafiche.

La litostratigrafia rilevata nelle aree dei piloni n° 1, 6 e 7 è la seguente:

DESCIZIONE LITOSTRATIGRAFICA			
LITOL GI	PROF.T A' m	SPES SOR E m	ETA'
<b>Terreno vegetale Tipo OH</b>	P.C.  0.3 – 0.5 m	0.3 – 0.5 m	Rappresenta la copertura più superficiale dell'area prodotta a seguito della pedogenesi:  GHIAIA con LIMO SABBIOSO DI COLORE MARRONE SCURO.
<b>Substrato molto alterato Tipo SFLPS</b>			Costituisce uno spesso strato di materiali generati dall'alterazione del substrato geologico già intensamente fratturato:  CALCARI E CALCARI MICRITICI FRATTURATO DI COLORE ROSSO, A STRATI MEDI, LE FRATTURE RIEMPITE DI MATERIALI PROVENIENTI DALLO STRATO SOPRASTANTE, ANDANDO IN PROFONDITA' DIMINUISCE IL NUMERO E LA LARGHEZZA DELLE FRATTURE.

Figura 9 – Descrizione litologica delle aree omogenee presenti al di sotto dei piloni n° 1, 6 e 7

DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA			
LITOL GI	PROF.T A' m	SPES SOR E m	ETA'
<b>Terreno vegetale Tipo OH</b>	P.C.  0.3 – 0.5 m	0.3 – 0.5 m	Rappresenta la copertura più superficiale dell'area prodotta a seguito della pedogenesi:  GHIAIA con LIMO SABBIOSO DI COLORE MARRONE SCURO.
<b>Depositi di versante Tipo GP</b>	2.0 – 3.0 m	2.7 - 2.5 m	Costituisce uno spesso strato di materiali messi in posto dall'azione della gravità:  GHIAIA SABBIOSA A SPIGOLI VIVI.
<b>Substrato molto alterato Tipo SFLPS</b>			Costituisce uno spesso strato di materiali generati dall'alterazione del substrato geologico già intensamente fratturato:  CALCARI E CALCARI MICRITICI FRATTURATO DI COLORE ROSSO, A STRATI MEDI, LE FRATTURE RIEMPIE DI MATERIALI PROVENIENTI DALLO STRATO SOPRASTANTE, ANDANDO IN PROFONDITA' DIMINUISCE IL NUMERO E LA LARGHEZZA DELLE FRATTURE.

Figura 10 – Descrizione litologica delle aree omogenee presenti al di sotto dei piloni n° 2, 3, 4 e 5

## 8 PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI

Come illustrato nella relazione geologica, l'obiettivo delle indagini geognostiche eseguite è stato quello di determinare in via preliminare le caratteristiche del sottosuolo, per permettere una corretta modellazione geologica, geotecnica e sismica.

Si ribadisce che in fase esecutiva si renderà necessario realizzare uno studio di dettaglio relativo alle effettive postazioni interessate dalle opere previste e che pertanto tale indagine non può ritenersi sostitutiva di quanto previsto dalle NTC 2018 e dalle normative di riferimento.

### 8.1 REALIZZAZIONE INDAGINI

L'indagine geognostica è stata finalizzata alla conoscenza preliminare delle caratteristiche geologico-stratigrafiche e geotecniche del sito in oggetto. Sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.4 indagine sismiche a rifrazione MASW;
- n.7 indagini di sismica passiva tipo HVSR.

Per la scelta dell'ubicazione delle indagini si è proceduto cercando di individuare aree omogenee dal punto di vista geologico, in tal modo sono state effettuate le prove sulle litologie rappresentative dell'area in studio, riducendo, per questa fase, i punti d'indagine. Le informazioni ottenute sono state poi riportate per analogia anche a quelle aree non indagate.

Dall'osservazione delle caratteristiche geologiche del sito è possibile effettuare il seguente raggruppamento (raggruppamenti fatti sulla base della cartografia). E' stata eseguita una prova sismica passiva HVSR per ogni aerogeneratore, e una prova sismica a rifrazione per ogni area omogenea di studio.

	Pilone	Caratteristiche carta geologica	Caratteristiche geomorfologica
Caratteristiche geologico geomorfologiche simili	6 4 5	Formazione Scaglia rossa sub-affiorante	Presenza di dissesto
	1 2	Formazione Scaglia rossa sub-affiorante	Area stabile
	7 3	Presenza di detrito	Area stabile

*Tabella 1 – Raggruppamento siti indagini geognostiche*

Per la consultazione dettagliata dell'esecuzione delle indagini geognostiche si rimanda alla consultazione della relazione geologica allegata.

## **8.2 CONSIDERAZIONI DI TIPO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Le analisi sismiche progettate in base alla categorizzazione di diverse condizioni geologiche fatte sulla base di osservazioni cartografiche tematiche, correlate mediante il rilevamento di campagna, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- TORRE 1: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa è affiorante, ricoperto a tratti da terreno vegetale e manto erboso di pochi decimetri. La formazione presenta forte fratturazione per almeno 5m, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Non sono presenti fenomeni di dissesto. Si verificano fenomeni di ruscellamento diffuso. E' prevista amplificazione topografica e stratigrafica.
- TORRE 2: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, è ricoperto da terreno vegetale, manto erboso e un esiguo strato detritico derivante dall'alterazione in loco del substrato stesso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Non sono presenti fenomeni di dissesto. Si verificano fenomeni di ruscellamento diffuso. Non è prevista amplificazione topografica, è prevedibile amplificazione stratigrafica.
- TORRE 3: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, ricoperto da terreno vegetale, manto erboso e un esiguo strato detritico derivante dall'alterazione in loco del substrato stesso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Non sono presenti fenomeni di dissesto. Visto l'andamento topografico sono possibili, in prossimità della pala ristagni d'acqua in superficie. Non è prevista né amplificazione topografica, ma è possibile l'amplificazione stratigrafica.
- TORRE 4: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, ricoperto da terreno vegetale, manto erboso e un esiguo strato detritico derivante dall'alterazione in loco del substrato stesso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur

ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Anche se la cartografia indicava fenomeni di dissesto, il rilevamento e le prove fatte non evidenziano tale condizione, si ritiene pertanto che anche quest'area sia stabile. Si verificano fenomeni di ruscellamento diffuso. Non è prevista amplificazione topografica, è prevedibile amplificazione stratigrafica.

- TORRE 5: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, ricoperto da terreno vegetale, manto erboso e un esiguo strato detritico derivante dall'alterazione in loco del substrato stesso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Anche se la cartografia indicava fenomeni di dissesto, il rilevamento e le prove fatte non evidenziano tale condizione, si ritiene pertanto che anche quest'area sia stabile. Si verificano fenomeni di ruscellamento diffuso. Non è prevista amplificazione topografica, è prevedibile amplificazione stratigrafica.
- TORRE 6: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, ricoperto da un sottile strato di terreno vegetale, manto erboso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Anche se la cartografia indicava fenomeni di dissesto, il rilevamento e le prove fatte non evidenziano tale condizione, si ritiene pertanto che anche quest'area sia stabile. Visto l'andamento topografico sono possibili, in prossimità della pala ristagni d'acqua in superficie. Non è prevista amplificazione topografica, è prevedibile amplificazione stratigrafica.
- TORRE 7: il substrato rappresentato dai calcari della scaglia rossa, ricoperto da terreno vegetale, manto erboso e un esiguo strato detritico derivante dall'alterazione in loco del substrato stesso. La formazione in superficie presenta fratturazione, in profondità seppur ancora fratturata diminuisce notevolmente l'alterazione. Non sono presenti fenomeni di dissesto. Visto l'andamento topografico sono possibili, in prossimità della pala ristagni d'acqua in superficie. Non è prevista né amplificazione topografica, ma è possibile l'amplificazione stratigrafica.

### **8.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

I parametri geotecnici divisi per aree di intervento sono stati riassunti, ricavati da bibliografia e dalle prove sismiche. Per la consultazione si faccia riferimento alla tavola A1 della relazione geologica allegata.

## **9 ANALISI DEI CARICHI**

La valutazione dei carichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del D.M. 2018. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

## **10 AZIONI SULLA STRUTTURA**

Le azioni sulla struttura in esame sono valutate in accordo al capitolo 3 del D.M. 2018. In particolare sono presenti:

- Carichi permanenti strutturali e non strutturali;
- Azione sismica;
- Carichi caratteristici da neve;
- Carichi caratteristici da vento estremo;
- Carichi estremi;
- Carichi estremi durante il normale funzionamento.

Le azioni così ottenute sono opportunamente combinate tra loro in base alle combinazioni di carico indicate dalla norma di riferimento e riportate in dettaglio al capitolo dedicato della presente relazione. Da queste si ottengono i valori di progetto delle sollecitazioni da impiegare successivamente nelle verifiche. I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018.

## 11 PERICOLOSITÀ SISMICA

In base alla recente normativa antisismica (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" modificata dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03/05/2005 "Ulteriori modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 ..."; D.M. 14/09/2005 "norme tecniche per le costruzioni" sostituito dal DM del 14/01/2008 "nuove norme tecniche per le costruzioni"; ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006), il territorio italiano è stato suddiviso in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. In particolare, nell'allegato relativo ai "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone" si è proceduto alla riclassificazione sismica dei comuni italiani in funzione di fattori quali l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni e l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Sono state così definite quattro zone con fattori di rischio decrescente.

Ai fini della determinazione dell'influenza delle azioni sismiche nell'opera in progetto si è provveduto, secondo i dettami del T.U. Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche, a caratterizzare i seguenti aspetti:

- aspetti geodinamici e sismici;
- pericolosità sismica di base.

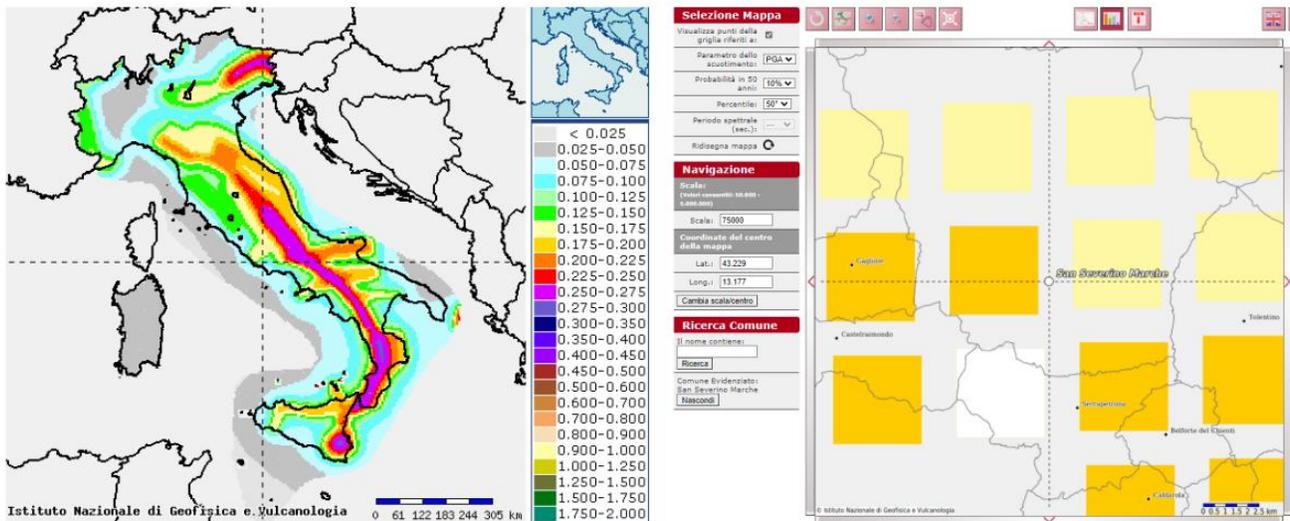
Il comune di San Severino Marche e Serrapetrona secondo l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 vengono classificati in Zona 2, mostrando, così, un valore di accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compreso/uguale tra **0,15-0,25**.

Zona		A(g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)	A(g) con probabilità di superamento della soglia pari al 10% in 50 anni
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti	0.35 g	$a_g > 0.25 > 0.25$
Zona 2	Nei Comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti	0.25 g	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti	0.15 g	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	E' la zona meno pericolosa	0.05 g	$a_g \leq 0.05$

*Figura 11 – Classificazione sismica*

La pericolosità sismica di base (caratteristiche del moto sismico nel sito di interesse) viene definita da:

1. l'accelerazione massima di picco orizzontale  $a_g$ ;
2. valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$ ;
3. periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T_c$ .



*Figura 12 – Pericolosità sismica*

I valori di pericolosità sismica sono in funzione per periodo di ritorno associato ai vari stati limite SL. L'accelerazione massima al suolo viene fornita con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno  $T_r=475$  anni e  $T_r=50$  anni - mappa di pericolosità dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). In tabella sono riportati i valori per il sito in esame (cfr la relazione geologica – tavola A10):

	Prob. superamento [%]	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,059	2,491	0,277
Danno (SLD)	63	50	0,074	2,475	0,290
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,177	2,488	0,334
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,228	2,522	0,340

*Figura 13 – Parametri sismici*

Tali valori vengono riferiti al suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale; si deve pertanto valutare l'effetto della risposta sismica locale al fine di poter stimare come il segnale sismico viene variato a causa delle caratteristiche litologiche dei terreni e quindi delle proprietà meccaniche e della topografia di superficie. Si richiede pertanto di determinare:

1. l'amplificazione stratigrafica;
2. l'amplificazione topografica.

Dalle prove sismiche e geotecniche effettuate, in tutti i siti previsti per la messa in opera degli aerogeneratori il terreno in studio lo si può assimilare alla **categoria "B"**. Grazie alla determinazione della categoria di suolo si determina il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica ( $S_s$  è in funzione dei parametri di pericolosità sismica  $A_g$  e  $F_0$  e dell'accelerazione di gravità). Viene inoltre definito il coefficiente  $C_c$  utile per il calcolo di  $T_c$  (periodo inizio tratto velocità costante). Per i valori per ogni singola pala consultare la tavola A10 della relazione geologica.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $ST$ , in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. Ad esclusione della torre 1 le aree d'interesse si presentano sub-pianeggianti essendo poste sulla sommità di un rilievo, dato che la larghezza alla sommità risulta di relativamente poco inferiore a quella alla base, si determina il coefficiente di amplificazione  $ST = 1$ . La torre T1 è invece localizzata su un piano delimitato a nord da un declivio  $>30m$  e con pendenza  $>15^\circ$ , in questo caso si assegna un valore di  $ST=1,2$ .

## 12 COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni sulla costruzione sono state combinate secondo le regole previste dalla normativa vigente.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni in accordo con il paragrafo 2.5.3 del D.M.17/01/2018:

- |   |         |
|---|---------|
| - Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):<br>$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ | [2.5.1] |
| - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:<br>$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$   | [2.5.2] |
| - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:<br>$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$   | [2.5.3] |
| - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:<br>$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$  | [2.5.4] |
| - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:<br>$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  | [2.5.5] |
| - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:<br>$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  | [2.5.6] |
| Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  |         |
| $G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$   | [2.5.7] |

*Figura 14 – Combinazioni di carico*

In cui

- $G_1$  carico permanente strutturale;

- G2 carico permanente di tutti gli elementi non strutturali;
- Qk1 valore caratteristico del carico variabile dominante;
- Qki valore caratteristico dell'i-esimo carico variabile;

Le verifiche sono state sviluppate con l'Approccio 2 come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione A1+M1+R3. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 definiti nella Tab. 6.2.I del D.M. 2018.

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella Tab. 6.2.II del D.M. 2018.

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della Tab. 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali e della Tab. 6.4.II per le fondazioni su pali.

### 13 MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

Per il progetto e la verifica delle fondazioni si utilizza un programma di calcolo agli elementi finiti (FEM), come SISMICAD. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto.

Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli:

- un pre processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore;
- il solutore agli elementi finiti;
- un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

### 14 VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M.2018.

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

*Tabella 2 – Coefficienti parziali per le azioni (D.M.2018)*

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella.

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

*Tabella 3 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici (D.M.2018)*

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali e della tabella 6.4.II per le fondazioni su pali.

**Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

*Tabella 4 – Coefficienti parziali per le verifiche SLU fondazioni superficiali (D.M.2018)*
**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

*Tabella 5 – Coefficienti parziali per le verifiche SLU fondazioni su pali (D.M.2018)*

#### 14.1 CARICO LIMITE FONDAZIONE

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione trinomia:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} + c N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

in cui:

$\gamma$  = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$c$  = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$q$  = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

$B'$  = larghezza ridotta della fondazione =  $B - 2e$ ;

$L$  = lunghezza della fondazione;

$N_c, N_q, N_{\gamma}$  = fattori di capacità portante;

$s, d, i, g, b$  = coefficienti correttivi.

## **14.2 VERIFICHE STRUTTURALI**

La verifica degli elementi allo S.L.U. avviene col seguente procedimento:

- costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si combinano tali sollecitazioni con quelle dovute all'azione del sisma secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018; per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo con cui progettare o verificare l'elemento considerato;
- per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

## **15 CONCLUSIONI FINALI**

Il plinto scelto in via preliminare per la fondazione è un elemento fondale diretto in calcestruzzo gettato in opera di forma circolare composto da un plinto di base e un colletto superiore. Il plinto di base ha diametro di 26,0 m e una profondità di 3,9 m dal piano campagna. Il colletto superiore cilindrico avrà diametro di 6,00 m ed altezza 0,65 m.

**In funzione delle indagini geotecniche eseguite in situ in sede di progetto esecutivo verranno definiti tutti i dettagli sulla geometria, le dimensioni della fondazione superficiale e l'eventuale presenza e caratteristiche dei pali per ogni aerogeneratore.**