

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI "Faeto-Celle"

**ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING  
DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI**



**Edison Rinnovabili Spa**  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



<p>Progettazione Coordinamento</p>	 <p><b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY &amp; URBAN PLANNING Via.405 Cav. 48 - 71021 Foggia - Tel.0881.760233 - Fax 1284412324 mail: info@vegadesign.org - website: www.vegadesign.org</p>	<p>Studi Ambientali e Paesaggistici</p>	<p><b>Arch. Antonio Demaio</b> Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251   Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com</p> 		
<p>Studio Geologico-Idrologico</p>	<p><b>Studio di Geologia Tecnica &amp; Ambientale Dott.ssa Geol. Giovanna Amedei</b> Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg) Tel./Fax 0884.965793   Cell. 347.6262259 E-Mail: giovannaamedei@isciscil.it</p> 	<p>Studio Acustico</p>	<p><b>Arch. Denora Marianna</b> Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455   Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it</p> 		
<p>Studi Naturalistici e Forestali</p>	<p><b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b> Via Mario Pagano 47 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it</p> 	<p>Studio Idraulico</p>	<p><b>Studio di ingegneria Dott.ssa Ing. Antonella Laura Giordano</b> Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (FG) Tel./Fax 0881.070126   Cell. 334.81.81.81 E-Mail: lauragiordano@gmail.com</p> 		
<p>Progettazione elettrica</p>	<p><b>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA</b> MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128   71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072   Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net</p> 	<p>Studio archeologico</p>	<p><b>Archeologica s.r.l.</b> Il presidente <b>Dott. Vincenzo Ficco</b> Tel. 0881.750334 E-Mail: info@archeologicasrl.com</p> 		
<p>Opera</p>	<p><b>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 14 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 92,4 MW nei Comuni di Faeto e Celle di San Vito e relative opere di connessione alla località "Monte S.Vito - Ciuccia - Crepacore" con smantellamento di n. 60 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,75 MW.</b></p>				
<p>Oggetto</p>	<p>Nome Elaborato: VIA_02_R2P8522-CPE_Relazione calcoli preliminari strutture opere impianto eolico</p> <p>Descrizione Elaborato: Relazione calcoli preliminari strutture opere impianto eolico</p>		<p>Foglio: VIA_02_Calcoli preliminari opere ed impianti</p>		
<p>00</p>	<p>Novembre 2023</p>	<p>Emissione per progetto definitivo</p>	<p>VEGA</p>	<p>Arch. A. Demaio</p>	<p>Edison Rinnovabili Spa</p>
<p>Rev.</p>	<p>Data</p>	<p>Oggetto della revisione</p>	<p>Elaborazione</p>	<p>Verifica</p>	<p>Approvazione</p>
<p>Scala:</p>	<p>Integrale Ricostruzione Faeto - Celle</p>				
<p>Formato:</p>	<p>Codice progetto AU   <b>R2P8522</b>  </p>				

Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Faeto-CelleSV".  
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

## Indice

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>2</b>
<b>3. UBICAZIONE E DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AEROGENERATORE .....</b>	<b>5</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
<b>7. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>6</b>
<b>8. AZIONE DEL VENTO SECONDO IL DM 16/01/1996 .....</b>	<b>7</b>
<b>9. VERIFICHE .....</b>	<b>9</b>
<b>10. CALCOLO DEI PLINTI RETTANGOLARI .....</b>	<b>9</b>
<b>11. DESCRIZIONE DELLE ARMATURE PREVISTE NEI PLINTI.....</b>	<b>10</b>

## Elenco delle Figure

<i>Figura 1. Definizione del sistema di coordinate secondo IEC 61400-1.....</i>	<i>7</i>
---	----------

## Elenco delle Tabelle

<i>Tabella 1. Caratteristiche dei materiali costituenti le fondazioni in c.a.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabella 2. Carichi estremi sulle fondazioni.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabella 3. Fatica equivalente sui carichi di fondazione (<math>N_{eq}=10^7</math>) .....</i>	<i>7</i>

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha carattere puramente descrittivo-illustrativo, fornendo esclusivamente, nelle linee generali, indicazioni sulle soluzioni strutturali adottate e i metodi di calcolo utilizzati.

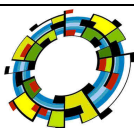
Per una compiuta e dettagliata analisi strutturale delle opere, si rimanda pertanto alla fase di progettazione esecutiva che verrà svolta a valle dell'ottenimento delle autorizzazioni necessarie alla costruzione ed esercizio dell'impianto.

In sede di progettazione esecutiva, in seguito alle prove geotecniche sul terreno atte a definire i valori di portanza su ogni singola postazione, sarà possibile realizzare il calcolo puntuale della fondazione per l'aerogeneratore.

## 2. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- **Legge n. 1086 del 05.11.1971** "Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso, ed a struttura metallica";
- **Legge n. 64 del 02.02.1974** - "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- **D.M. 09.01.96** "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- **DM 16 gennaio 1996** "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- **DM 16 gennaio 1996** "Norme tecniche relative ai <Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>";
- **D.M. 11 marzo 1988** "Norme tecniche riguardanti indagini sui terreni e sulle rocce stabilite dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per progettazione, esecuzione e collaudo di opere di sostegno delle terre e opere di fondazione";
- **IEC 60400-1** "Wind Turbine safety and design";
- **Circolare Min. LL.PP. 04 luglio 1996, n. 156** "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme tecniche relative ai <Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>'";
- **Circolare Min. LL.PP. 31 luglio 1979, n. 19581 - Legge 1086, art. 7** - Collaudo statico
- **Circolare Min. LL.PP. 1° settembre 1987, n. 29010 - Legge 1086 - D.M. 27 luglio 1985**, Controllo dei materiali in genere e degli acciai per cemento armato normale in particolare
- **Circolare Min. LL.PP. 29 ottobre 1987, n. 29233 - Legge 1086, art. 20**, Autorizzazioni laboratori per prove sui materiali;



- **Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici** - Linee Guida sul calcestruzzo strutturale – Dicembre 1996;
- **D.M LL.PP. del 24/01/1986** "Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche"
- **D.M. LL.PP. del 14/01/2008 (G.U n. 29 del 04/02/2008)**
- **Circolare del 02/02/2009 n. 617** "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- **D.M. 17/01/2018 pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42** "Norme tecniche per le costruzioni"
- **D.M. 21 Gennaio 2019, n. 7** "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti

La citata O.P.C.M ha, fra l'altro, sancito che la potestà regionale di individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ricadenti nel territorio regionale doveva essere esercitata sulla base dei criteri approvati e contenuti nell'Allegato 1 all'O.P.C.M.

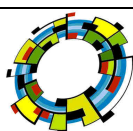
In applicazione del citato O.P.C.M. 3274, la nuova mappa nazionale del rischio sismico a cura della competente Amministrazione statale e confermava la zonizzazione sismica proposta dalla citata O.P.C.M. . Secondo l'Allegato 1 citato, il territorio dei Comuni di Volturino e Volturara Appula che sono classificati come appartenente alla zona sismica 2.

Le strutture di fondazione degli aerogeneratori sono state progettate effettuando le calcolazioni per una zona equivalente alla 1° categoria.

Inoltre, ai fini della esatta determinazione dell'azione sismica agente sulle strutture, è necessario individuare la categoria di sottosuolo, secondo la tabella di seguito riportata:

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $V_s30 > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < V_s30 < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < V_s30 < 3600$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $V_s30 < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $V_s > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $V_s30 < 100$ m/s
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

L'area su cui insistono tutti gli Aerogeneratori è classificata come Categoria "C" Depositi di ghiaia e

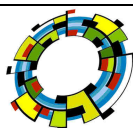


sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza e Categoria topografica "T1" come riportati nelle prove di stabilità allegate alla relazione geologica del geologo Giovanna Amedei.

<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE</b>			
<b>LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA da 0,00 a 3,20 metri</b> Terreno argilloso di colore grigio nerastro, saturo, ricco di sostanze organiche, molto plastico e molto compressibile (colluviale)  falda a 2,50 metri	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 17,820 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	41,580 %
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 18,20
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 24,30
		Coazione non drenata	$C_u$ = 40,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 2,20 MPa
		Velocità onde S	V = 180,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 59 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,32 -
		Coefficiente di Winkler	K = 11,767 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	$K_T$ = 7,627 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	$K_d$ = 8,782 kN/m <sup>3</sup>
		<b>2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO</b>	
<b>LITOLOGIA da 3,20 a 6,30 metri</b> Argille grigio-giallastre e beige con livelletti calcarenitici, consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 18,500 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	29,000 %
		Peso dell'unità di volume Saturo	$Y_{sat}$ = 18,950 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 22,00
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 20,00
		Coazione non drenata	$C_u$ = 100,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 7,00 MPa
		Velocità onde S	V = 340,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 217 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,35 -
		Coefficiente di Winkler	K = 34,323 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	$K_T$ = 24,457 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	$K_d$ = 28,154 kN/m <sup>3</sup>
<b>3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO</b>			
<b>LITOLOGIA oltre i 6,30 metri</b> Argille marnose prevalentemente grigiastre con venature bluastre e verdastre con livelli calcarenitici consistente	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	Peso dell'unità di volume	Y = 19,210 KN/m <sup>3</sup>
		Contenuto naturale d'acqua	28,930 %
		Peso dell'unità di volume Saturo	$Y_{sat}$ = 19,410 KN/m <sup>3</sup>
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	$\varphi'$ = 27,81
		Coazione drenata (da prove di taglio diretto)	$c'$ = 19,20
		Coazione non drenata	$C_u$ = 150,00 KPa
		Modulo Edometrico	$E_{ed}$ = 10,00 MPa
		Velocità onde S	V = 389,00 m/s
		Modulo di Taglio	G = 287 MPa
		Coefficiente di Poisson	n = 0,47 -
		Coefficiente di Winkler	K = 53,936 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente tangenziale	$K_T$ = 39,324 kN/m <sup>3</sup>
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	$K_d$ = 45,306 kN/m <sup>3</sup>

### 3. UBICAZIONE E DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Il presente progetto è finalizzato alla costruzione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica mediante l'installazione di 14 aerogeneratori in località "Monte S. Vito – Ciuccia – Crepacore" in agro di Faeto e Celle di San Vito (FG) e la realizzazione di un cavidotto interrato che porterà l'energia prodotta alla stazione elettrica utente di trasformazione 30/150 kV e per essere immessa sulla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) con collegamento in antenna a 150 kV Terna S.p.A di Celle San Vito (FG) mediante un cavidotto interrato di Alta Tensione.



#### 4. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AEROGENERATORE

La torre di sostegno, che porta l'asse dell'elica ad una altezza di 155 m dal suolo, e del tipo tubolare rastremato, con un diametro di 5 m alla base e di 3 m in sommità.

Le principali caratteristiche dell'aerogeneratore sono:

- Potenza: 6600 kW;
- Frequenza: 50/60 Hz;
- Giri del rotore: 6,25 – 12,81 giri/minuto;
- Senso di rotazione: orario;
- Numero delle pale: 3;
- Freni: Aerodinamici;
- Peso torre tubolare: 180 t;
- Peso navicella: 90 t;
- Peso rotore: 30 t.

#### 5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Per la completa caratterizzazione del terreno di fondazione si rimanda alla relazione geologica, nonché alla relazione geotecnica.

Il terreno di sedime si presenta costituito prevalentemente da argilla e marne argillose. I parametri geotecnici utilizzati sono richiamati nella relazione geotecnica. Sempre nella relazione geologica è stata valutata la tensione massima di lavoro (in condizioni di SLU) del terreno di fondazione superficiale, assunta pari a  $q_{max} = 2 \text{ daN/cm}^2$ .

Benché tale valore sia sufficiente in relazione alla realizzazione di fondazioni superficiali, al fine di limitare i cedimenti differenziali delle strutture di fondazione, si è scelto di fondare le strutture su pali trivellati in c.a. Le verifiche puntuali della portanza dei pali di fondazione sono riportate nei successivi paragrafi.

#### 6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nella realizzazione dei manufatti in c.a. si utilizzerà acciaio tipo Fe B 44 k con tensione caratteristica di snervamento  $\geq 430 \text{ N/mm}^2$  e tensione ammissibile di  $260 \text{ N/mm}^2$  controllato in stabilimento.

Il calcestruzzo viene specificato come "miscela progettata" con riferimento alle proprietà richieste (calcestruzzo a prestazione).

Con "calcestruzzo a prestazione", secondo le Linee Guida e la norma UNI 9858, si intende un calcestruzzo per il quale il progettista ha la responsabilità di specificare le prestazioni richieste ed eventuali ulteriori caratteristiche e per il quale l'appaltatore è responsabile della fornitura di una miscela conforme alle prestazioni richieste e alle eventuali ulteriori caratteristiche.

I dati fondamentali per i calcestruzzi a prestazione, specificati nel seguito, comprendono:

- classe di resistenza;
- dimensione massima nominale degli aggregati;
- classe di esposizione ambientale;
- classe di consistenza;
- tipologia strutturale (calcestruzzo non armato, armato o precompresso).

Il calcestruzzo dovrà essere confezionato conformemente alle norme di C.S.A. e nel rispetto delle norme UNI di riferimento (UNI 9858 – UNI 8981 – UNI 9917 – UNI 9420 – etc.).

Si riporta, di seguito, una tabella riassuntiva delle caratteristiche dei materiali impiegati.

<b>MATERIALI</b>	
<b>Calcestruzzo</b>	
Classe di resistenza	C 25/30
Classe di esposizione ambientale	2a, XC2
Classe di consistenza	S4
Tipologia strutturale	Cemento Armato
Resistenza caratteristica	30 N/mm <sup>2</sup>
Copriferro	40 mm
Dimensione massima nominale degli aggregati	≤ 30 mm
<b>Acciaio</b>	
Tipo di acciaio	Fe 44 K
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 430$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione ammissibile	$\sigma_{amm} = 260$ N/mm <sup>2</sup>

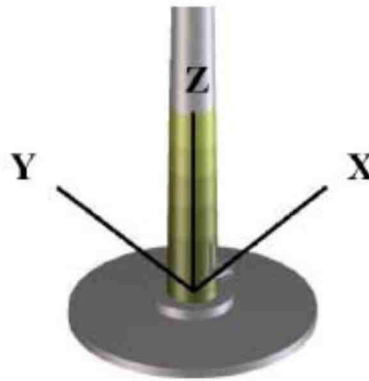
Tabella 1. Caratteristiche dei materiali costituenti le fondazioni in c.a.

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Il calcolo di progetto della torre di sostegno dell'aerogeneratore è stato eseguito dal produttore sulla base delle sollecitazioni massime previste dalle norme IEC 61400-1 per le aree di classe IEC Ia.

I carichi agenti sui plinti di fondazione sono essenzialmente quelli scaricati dalle torri. Oltre ai pesi propri delle membrature ed ai carichi permanenti delle apparecchiature il calcolo tiene conto anche delle azioni del vento e delle azioni sismiche.

In Figura 1 si riporta il sistema di riferimento adottato per la rappresentazione dei carichi.



*Figura 1. Definizione del sistema di coordinate secondo IEC 61400-1*

Le tabelle riportate di seguito, estrapolate dalla documentazione tecnica fornitaci dal costruttore delle turbine, riassumono i carichi a cui sono sottoposte le fondazioni.

Load case	Load factor	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	F <sub>xy</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	M <sub>xy</sub> (kNm)
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	<b>196237,91</b>
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	<b>178398,1</b>

*Tabella 2. Carichi estremi sulle fondazioni*

	Load factor	m	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)
Tower Bottom	1	4	563,31	361,63	177,3	22054,68	<b>39810,03</b>	10283,41
Tower Bottom	1	7	558,57	361,77	174,53	26918,71	<b>50074,58</b>	10803,68

*Tabella 3. Fatica equivalente sui carichi di fondazione (N<sub>eq</sub>=10<sup>7</sup>)*

Al fine di confrontare i valori delle sollecitazioni calcolati secondo la IEC 61400-1 con la normativa italiana, verrà riportato nel prossimo paragrafo il calcolo delle azioni del vento secondo il D.M. del 16 gennaio 1996 "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

## 8. AZIONE DEL VENTO SECONDO IL DM 16/01/1996

Le azioni del vento sulle strutture si possono, nei casi usuali, ricondurre ad azioni statiche equivalenti.

Normalmente la direzione del vento si considera orizzontale e proveniente da qualsiasi direttrice.

Le azioni statiche del vento si traducono in pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

Secondo il D.M. 16/01/1996 la pressione del vento P è data dall'espressione:



$$P = q_{ref} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

dove

- $q_{ref}$  e la pressione cinetica di riferimento di cui al punto 7.4. del D.M.;
- $C_e$  e il coefficiente di esposizione di cui al punto 7.5. del D.M.;
- $C_p$  e il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;
- $c_d$  e il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali".

La pressione di riferimento  $q_{ref}$  e calcolata come segue:

$$q_{ref} = \frac{v_{ref}^2}{1,6}$$

con  $v_{ref}$  che rappresenta la velocità di riferimento del vento misurata in m/s, cioè il valore massimo, riferito ad un intervallo di ritorno di 50 anni, della velocità del vento misurata a 10 m dal suolo su un terreno di II categoria e mediata su 10 minuti.

Il valore della velocità di riferimento può essere assunto pari a quello riportato nella tabella 7.1 dello stesso decreto. Nel caso della regione Puglia la velocità di riferimento risulta essere pari a 27 m/s e la relativa pressione di riferimento  $q_{ref}$  sarà quindi pari a 455,625 N/m<sup>2</sup>.

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza della costruzione  $z$  sul suolo, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione del sito ove sorge la costruzione. Tale coefficiente risulta dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

dove

- $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
- $c_t$  e il coefficiente di topografia e può essere considerato pari a 1.

Per la verifica dei plinti di fondazione che si effettuerà nella progettazione esecutiva, per una

progettazione cautelativa, verrà utilizzato il valore di forza in direzione dell'asse y più elevato tra quello calcolato secondo la normativa italiana e quello fornito dal costruttore delle turbine.

## 9. VERIFICHE

Le verifiche, svolte secondo il metodo delle tensioni ammissibili, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

Le verifiche sono state effettuate in corrispondenza delle condizioni maggiormente gravose per la struttura di fondazione, sommando ai pesi propri e alle azioni del vento, i carichi sismici.

Sono state effettuate le seguenti verifiche:

- verifica del terreno di fondazione;
- verifica della tensione di lavoro delle armature della fondazione;
- verifica della tensione di lavoro del calcestruzzo della fondazione;
- verifica a taglio della fondazione;
- verifica a punzonamento della fondazione;
- verifica allo slittamento;
- verifica al ribaltamento;
- verifica della portanza dei pali di fondazione.

## 10. CALCOLO DEI PLINTI RETTANGOLARI

Il calcolo dell'armatura del plinto di fondazione può essere ricondotto da quello di una piastra a quello di quattro mensole incastrate al piede del pilastro, essendo tale schema in vantaggio di sicurezza rispetto a quello più esatto di piastra.

L'armatura del grigliato di base è ottenuta dal calcolo a flessione semplice schematizzando l'intero plinto come quattro mensole incastrate al piede del pilastro.

La verifica a taglio viene effettuata sempre sulle stesse mensole, su una sezione di riferimento distante dal filo del pilastro di un tratto pari alla metà dell'altezza massima del plinto. Il passaggio di questa verifica implica automaticamente il passaggio della verifica a punzonamento per lo sforzo normale del pilastro.

Se la lunghezza della mensola di verifica, misurata da filo del pilastro al bordo più lontano, è inferiore all'altezza massima del plinto, essa si suppone sufficientemente tozza da non richiedere alcuna verifica a taglio e la verifica dell'armatura di base viene effettuata secondo lo schema semplificato di puntone e tirante.

Il progetto delle armature viene effettuato nella condizione che gli elementi bidimensionali siano soggetti contemporaneamente a sforzi membranali e flessionali.

## 11. DESCRIZIONE DELLE ARMATURE PREVISTE NEI PLINTI

Le armature di seguito riportate sono state dedotte dal calcolo preliminare effettuato per gli aerogeneratori della centrale eolica. Per il calcolo puntuale delle armature e le verifiche delle opere in c.a., si rimanda alla successiva progettazione esecutiva delle opere.

L'armatura inferiore del plinto tipo è costituita da una maglia principale di ferri o 20/25; L'armatura superiore è costituita da una maglia di ferri o 20/25, in cui i ferri centrali sono interrotti in corrispondenza del concio di fondazione della torre. In sovrapposizione rispetto alla maglia principale sono previsti i raffittimenti composti da 60 ferri radiali o 20 passanti all'interno del concio, 3 ferri circolari o 20 di diametro di 100, 180 e 240 cm posizionati all'interno del concio e 60 ferri ad U o 26 posti appena al di sotto del concio di fondazione.

L'armatura laterale del plinto consta di ferri o 16/25 posati sia in verticale che in orizzontale.

**Come già più volte specificato in precedenza, i calcoli sopraindicati servono solo a mettere in evidenza le volumetrie delle fondazioni e i relativi spazi di occupazione, sono conformi ai requisiti prestazionali richiesti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 17/01/2018. Solo in seguito alle analisi geotecniche sulla portanza del terreno ed alla analisi geologica di ogni singola postazione, sarà possibile eseguire dei calcoli esecutivi, che vengono quindi rimandati alla successiva fase di progettazione esecutiva in sede di acquisizione del titolo sismico ai sensi degli articoli 93, 94 del D.P.R.380/2001.**

Foggia, Dicembre 2023

Il tecnico  
  
Arch. Antonio Demaio  
