



Proponente	EN. IT SRL Verona (VR), Via Francia 21/C, 37135 C.F. /IVA 04642500237 Telefono 0972 237126 - E-mail: amministrazione@enitgroup.eu					
Progettazione	Ing. Fabio Domenico Amico Via Milazzo, 17 - 40121 Bologna E-Mail: f.amico@readvisor.eu 	Studio Ambientali e Paesaggistico	ATECH srl Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it 			
Studio Incidenza Ambientale Flora fauna ed ecosistema	ATECH srl Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it 	Studio Acustico	ATECH srl Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it 			
Studio Archeologico	CAST s.c.r.l Dott.ssa Lucia CECI Via G. Suppa, 30 - 70122 Bari E-Mail: castarcheologia@gmail.com	Studio idraulico	ATECH srl Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it 			
Studio Geologico	dott. geol. Michele VALERIO Residence "Palium" - C.da Auricarro 70027 Palo del Colle (BA) E-Mail: va.michele@libero.it 					
Opera	Impianto Eolico composto da n.11 aerogeneratori aventi una potenza complessiva di 48 MW nel Comune di Brindisi (BR) alla Località "Maffei"					
Oggetto	Folder: Nome Elaborato: CalcoliPreIStrutture Descrizione Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
00	Ottobre 2019	Emissione per progetto definitivo	S.C.	S.S.	F.D.	
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione	
Scala:	Codice Pratica 36PVT59					
Formato:						

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE STRUTTURALI DI FONDAZIONE DI AEROGENERATORI

1. PREMESSA

Di seguito saranno illustrate le risultanze del calcolo preliminare delle opere strutturali delle fondazioni delle torri eoliche di altezza pari a $H=115$ metri adottata come riferimento per la costruzione dell'Impianto Eolico che la società En.It. s.r.l. prevede di realizzare nel comune di Brindisi (BR).

I calcoli strutturali sono stati effettuati sulla base delle caratteristiche geologiche fornite nello specifico studio predisposto dal geologo dott. Michele VALERIO, dei carichi trasmessi alla struttura di fondazione dall'aerogeneratore, relativamente all'aerogeneratore selezionato per il progetto in esame, nonché nel rispetto della normativa tecnica disposta per il territorio comunale di Brindisi (BR).

I valori dei carichi trasmessi alla struttura di fondazione dall'aerogeneratore, derivanti dai pesi propri dei componenti dello stesso e dall'azione del vento sono strettamente legati alle caratteristiche delle pale utilizzate dallo stesso aerogeneratore.

Le principali caratteristiche del singolo aerogeneratore sono:

- potenza nominale 4,35 MW;
- altezza della torre 115 m;
- diametro del rotore 170 m;
- numero delle pale 3 n;
- peso della turbina 650,00 t;

2. UNITA` DI MISURA.

Dove non diversamente specificato le unità di misura adottate sono le seguenti:

lunghezze: metri

forze: Kg ovvero daN

angoli: gradi sessagesimali

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

Per il calcolo delle sollecitazioni nelle strutture di fondazione e per la progettazione delle armature ad esse relative si fa riferimento alla normativa di seguito elencata:

1. CEI ENV 61400-1, "Sistemi di Generazione a Turbina Eolica – parte I";

2. Legge n° 1086 del 5/11/1971, "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
3. D.M. del 9/1/1996, "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche";
4. D. M. del 16/1/1996, "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
5. Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 4 luglio 1996 n° 156AA.GG./STC. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi", di cui al Decreto Ministeriale del 16 gennaio 1996;
6. D.M. del 27/7/1985 - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche;
7. Norme Tecniche C.N.R. n°10011-85 del 18.04.1985, "Costruzioni di acciaio – istruzioni per il calcolo, la esecuzione, il collaudo e la manutenzione";
8. Norme Tecniche C.N.R. n°10016-85, "Travi composte di acciaio e calcestruzzo"
9. Legge n° 64 del 2/2/1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
10. D.M. del 24/1/1986 - Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche.
11. Eurocodice 2 ed Eurocodice 3;
12. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (O.D.P.C.M.) n°3274 del 20.03.2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative sismiche per costruzioni in zona sismica" e successivi aggiornamenti (ordinanza n°3.431 del 03.05.2005)";
13. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (O.D.P.C.M.) n°3316 "Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (O.D.P.C.M.) n°3274 del 20.03.2003";
14. D.M. Infrastrutture 14.01.2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
15. Circolare Esplicativa 2 febbraio 2009 n°617, "Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
16. D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni".

4. TIPOLOGIA DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE

La fondazione di ciascun aerogeneratore è costituita da plinto parallelepipedo a pianta poligonale, inscritto in un cerchio di diametro pari a 25,00 metri, e di altezza pari a 3,00 metri, poggiante su uno strato di pulizia e di regolarizzazione del fondo di spessore pari a circa 30-35 cm, reso con la superficie superiore perfettamente orizzontale.

Il piano di posa della fondazione è stato previsto ad una profondità di circa 4,50 metri rispetto al piano di campagna, tanto da garantire l'ammorsamento su pali di fondazione (n° 16) di diametro $\phi = 1,20$ m, L = 25,00 m. e ricopertura della testa del plinto per circa 1,50 metri.

Il plinto possiede un'armatura disposta sia in corrispondenza della superficie di base che superiore, determinata sulla scorta della procedura di calcolo, oltre che un'armatura aggiuntiva necessaria per il corretto posizionamento e collocamento degli elementi in acciaio atti a garantire il collegamento della torre alla fondazione. Infatti l'armatura aggiuntiva suddetta risulta essere necessaria in quanto tale struttura in acciaio, essendo parzialmente annegata nello stesso plinto, è causa di soluzione di continuità per l'armatura superiore. Si precisa che la struttura in acciaio, completa di viti di regolazione e piatti di rinforzo, è fornita dalla società produttrice delle torri eoliche, unitamente alla torre aerogeneratrice e, pertanto, calcolata, dimensionata e verificata dalla medesima società produttrice e, comunque, fuori di questo progetto.

5. METODOLOGIA DI CALCOLO.

La metodologia di calcolo per la progettazione e per la verifica del plinto di fondazione di ciascuna torre eolica è quella prevista dalle normative vigenti ossia delle tensioni agli stati limite.

6. COMBINAZIONI DI CARICO

Le **combinazioni di carico** oggetto della analisi strutturale della fondazione a plinto di ciascuna torre aerogeneratrice vengono di seguito elencate:

- pesi propri + vento d'esercizio + sisma direzione x;
- pesi propri + vento d'esercizio + sisma direzione y;
- pesi propri + vento estremo;
- pesi propri + vento (a fatica).

La combinazione di carico derivante dalla sovrapposizione delle azioni dovute ai pesi propri, al vento estremo e agli effetti sismici non è stata oggetto di analisi in quanto ritenuta di probabilità trascurabile.

Alla luce dei calcoli effettuati si può affermare che **la condizione più gravosa per la struttura di fondazione a plinto** di ciascuna torre aerogeneratrice **è rappresentata dalla contemporanea azione dei pesi propri e del vento estremo.**

7. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE.

7.1 CALCESTRUZZO PER LA SOTTOFONDAZIONE.

Il conglomerato cementizio da utilizzare per la sottofondazione non armata di pulizia e di regolarizzazione sarà confezionato secondo le norme UNI 9858, UNI EN 206-1 (Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità) ed UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1) e possiederà le seguenti caratteristiche:

- resistenza caratteristica: C16/20 ($R_{ck} = 200 \text{ daN/cm}^2$);
- classe di consistenza: S3;
- classe di esposizione: 2B.

7.2 CALCESTRUZZO PER LA FONDAZIONE.

Il conglomerato cementizio da utilizzare invece per la struttura di fondazione sarà confezionato secondo le norme UNI 9858 e UNI EN 206-1 Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità) e avrà le seguenti caratteristiche:

7.2.1 resistenza caratteristica: C25/30 ($R_{ck} = 30 \text{ KN/cm}^2$) ovvero C30/37 ($R_{ck} = 37 \text{ KN/cm}^2$);

7.2.2 classe di consistenza: S3;

7.2.3 classe di esposizione: XC2 (Bagnato, raramente asciutto)

XF1 (Moderata saturazione di acqua, in presenza di agente disgelante)

XA1 (Aggressività debole).

7.3 ACCIAIO DI ARMATURA DEL CALCESTRUZZO PER LA FONDAZIONE.

L'**acciaio di armatura** da impiegare in barre tonde ad aderenza migliorata sarà del tipo **B450C controllato in stabilimento**.

Il **copriferro** di protezione basica delle armature delle opere di fondazione non dovrà in nessun caso essere inferiore a **5 cm**.

8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.

La struttura del terreno di fondazione, costituita da formazioni litoidi di buone caratteristiche di portanza, presenta i seguenti parametri geotecnici, come rilevati dallo studio geologico tecnico effettuato dal geologo dott. Michele VALERIO nell'area interessata dal Parco Eolico in comune di Brindisi (BR):

Limo sabbioso

- peso dell'unità di volume 1,6 – 2,1 g/cm³;
- velocità onde sismiche longitudinali 600 m/s
- coefficienti di Poisson 0,40
- modulo di rigidità (G) 1115 – 1435 Kg/cm²

- modulo di incompressibilità (K) 5360 – 6700 Kg/cm²
- modulo di Young (E) 230 kg/cm²
- Modulo Edometrico (Cu) 105 kg/cm²
- Coesione non drenata (Cu) 1,55 kg/cm²

Sabbie fini addensate con intercanalazioni arenitiche

- peso dell'unità di volume naturale 2,0 – 2,2 g/cm³;
- velocità onde sismiche longitudinali 600 – 1200 m/s
- coefficienti di Poisson 0,28

9. VERIFICHE EFFETTUATE

Con il calcolo della struttura di fondazione si sono effettuate le seguenti verifiche:

- verifica a ribaltamento → soddisfatta
- verifica agli SLU degli elementi di fondazione → soddisfatta
- verifica agli SLE degli elementi di fondazione → soddisfatta
- verifica sui pali → soddisfatta