



REGIONE BASILICATA



PROVINCIA DI POTENZA



COMUNE DI PIETRAGALLA



COMUNE DI POTENZA



COMUNE DI VAGLIO BASILICATA

Committente:

**EX**ENERGY s.r.l.

**GR**value

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO  
"PARCO EOLICO POGGIO D'ORO"

Titolo:

Relazione preliminare  
sulle strutture

Tavola:

**A.11**

-Progettista Architettonico/Elettromecc.:

Ing. Paolo Battistella

-Consulenza Geologica:

Dott. Geologo Viviani

-Responsabile V.I.A.:

Arch. Antonio De Maio

-Studio Paesaggistico:



N°	REVISIONE	DATA	RED.	APPR.
1	Ottimizzazione	05/2021	-	-
0	Emissione	06/2019	-	-

Data:

Maggio 2021

*Committente:*  
**EXENERGY S.r.l.**  
*Via Principe Amedeo, 7 – 85010 Pignola (PZ)*

Parco Eolico Poggio d'Oro  
**RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE**  
**A11**

INDICE

A. PREMESSA .....	2
B. TIPOLOGIE STRUTTURALI .....	4
B.1 FONDAZIONE .....	4
B.2 TORRE .....	8
B.3 NAVICELLA .....	10
C. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO E MODALITÀ DI CALCOLO .....	12
D. CRITERI DI VERIFICA.....	13

	Redatto	Note	Data
Rev.A	P.Battistella	Ottimizzazione	Maggio 2021
Emissione	P.Battistella		Giugno 2019

## A. PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritte le tipologie strutturali, gli schemi e i modelli di calcolo che vengono generalmente applicati agli impianti eolici.

Per quanto riguarda le scelte progettuali adottate, si rimanda alla relazione A15 “Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici”.

Nella presente relazione, alla descrizione generale degli aerogeneratori o WTG (*Wind Turbine Generator*), fa seguito l'elenco della normativa tecnica di riferimento che fornisce indicazioni per i diversi aspetti della struttura.

Sono quindi indicati i criteri di verifica, che soddisfano la normativa Nazionale e confermano le valutazioni già effettuate da enti indipendenti che hanno precedentemente certificato le macchine.

Considerando come turbina di riferimento la macchina VESTAS modello V136 con altezza al mozzo Hh 82/112m, si riportano le caratteristiche principali<sup>1</sup>:

### **Pale:**

- ✓ Numero: 3
- ✓ Lunghezza: 66,66m
- ✓ Materiale: materiale composito a matrice epossidica rinforzata con fibra di carbonio e Tip metallico.

### **Rotore:**

- ✓ Diametro 136 m
- ✓ Area spazzata 14.527 m<sup>2</sup>
- ✓ Rotazione: oraria (vista frontale)
- ✓ Orientamento: sopravvento
- ✓ Angolo di tilt: 6°
- ✓ Intervallo funzionamento 5,6 – 14 rpm

### **Pitch System:**

- ✓ Tipo: idraulico
- ✓ Numero: uno per ogni pala
- ✓ Intervallo: da -10° a 95°

---

<sup>1</sup> Vedi documento VESTAS nr. 0067-7060 V04 General Description – 4MW Platform – 2019-10-15

**Moltiplicatore (Gearbox):**

- ✓ Tipo: a due stadi;
- ✓ Lubrificazione: olio a pressione

**Torre:**

- ✓ Tubolare/conica
- ✓ Altezza mozzo:
  - 82m con torre "Low HH" (vedi doc. Vestas nr. 0067-7066 V07 Performance Specification – V136-4.0/4.2 MW 50/60 Hz (Low HH) 2020-04-14);
  - 112m con torre standard IEC IIB (vedi doc. Vestas nr. 0067-7065 V08 Performance Specification – V136-4.0/4.2 MW 50/60 Hz 2018-08-10).

**Generatore e convertitore di frequenza:**

- ✓ generatore asincrono a doppia alimentazione.
- ✓ regime di rotazione variabile per un ottimo rendimento
- ✓ Numero poli: 6
- ✓ Potenza 4.250/ 4.450 kW
- ✓ Classe Isolamento: H
- ✓ Protezione IP54

## B. TIPOLOGIE STRUTTURALI

Gli aerogeneratori sono essenzialmente costituiti da tre elementi:

1. fondazione;
2. torre;
3. navicella.

### B.1 Fondazione

Le fondazioni di un aerogeneratore sono progettate in base alle caratteristiche del terreno e quindi non è possibile definire la soluzione ideale prima di aver completato tutti gli studi geotecnici.

In linea di principio, le fondazioni si dividono in due tipologie principali:

- ✓ plinto diretto
- ✓ plinto a pali.

Per entrambe le soluzioni si prevede che il loro piano superiore sia ad almeno 1 metro al di sotto del piano di campagna: ciò permetterà, in fase di dismissione, la rimozione della struttura per un metro di profondità.

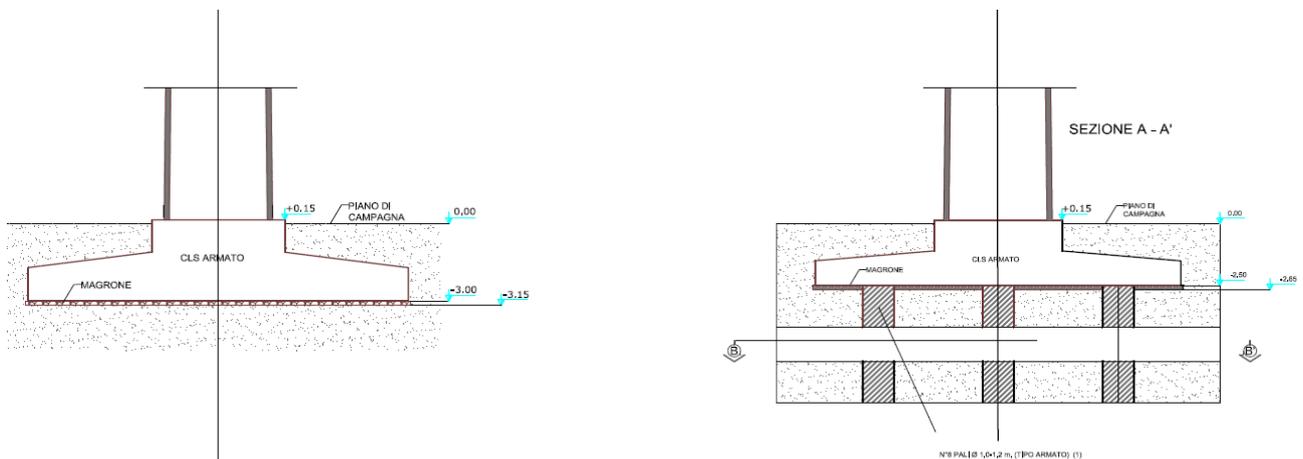


Figura 1 Tipico sezione fondazione diretta e a pali

La soluzione prevista per l'impianto è orientata sull'utilizzo di soluzione diretta (a gravità) per la gran parte delle postazioni. La decisione sarà però effettuata non appena conclusi i sondaggi specifici previsti per ogni postazione.

La pianta della fondazione può assumere varie forme geometriche, dal classico plinto quadro, a quello esagonale al più moderno circolare. La scelta del tipo di fondazione, la

forma e il dimensionamento definitivo verranno eseguiti in sede di progetto esecutivo ottimizzando gli aspetti strutturali.

Per quanto riguarda il dimensionamento, è prevista una dimensione massima del lato del plinto, o del diametro nel caso di plinto circolare, di 20m. Viste le caratteristiche del terreno è però ipotizzabile una dimensione inferiore. Lo spessore del plinto è previsto di 2-3m. Nel caso di plinto a pali le dimensioni saranno più contenute.

Il collegamento tra torre e plinto potrà essere eseguito con due diverse metodologie:

- ✓ con bicchiere di fondazione; ovvero con un concio di torre immerso nel plinto con flangia superiore imbullonata con quella di base della torre;
- ✓ Con gabbia di tirafondi; la flangia di base della torre è collegata ad una flangia immersa nella parte inferiore del plinto mediante dei tirafondi (barre in acciaio). È solidale al plinto grazie ai ferri di armatura che attraversano la gabbia e che, con l'apporto della flangia inferiore, garantiscono la trasmissione delle sollecitazioni al calcestruzzo.

La scelta della tecnologia da applicare sarà eseguita dal Progettista civile in sintonia con il costruttore/fornitore dell'aerogeneratore.

Il plinto è attraversato da tubazioni in resina per il passaggio dei cavi di potenza e dalla fibra ottica per i collegamenti. Inoltre è presente la maglia di messa a terra.

Per la costruzione verrà effettuato uno scavo a sezione obbligata con dimensioni corrispondenti a quelle previste dal progetto. Dopo il getto del magrone si posa la parte inferiore delle armature. A seguire si posizionerà la gabbia di tirafondi, precedentemente assemblata in sito. Infine verrà completata l'armatura della parte superiore del plinto garantendo la continuità tra gabbia e corpo del plinto.

Si effettua la colata di calcestruzzo, e completata la maturazione s'installa la torre ed il resto della turbina.

Al termine della vita utile dell'impianto, la turbina verrà interamente rimossa, il plinto parzialmente demolito fino a -1m dal piano di campagna, e quindi ricoperto di terreno vegetale in quantità tale da consentire il ripristino delle condizioni preesistenti, e comunque di spessore di almeno 1 metro.

Seguono disegni rappresentativi con indicazione delle possibili soluzioni adottabili (sezioni).

A titolo di esempio, vengono riportati i disegni tipici forniti dal costruttore VESTAS.

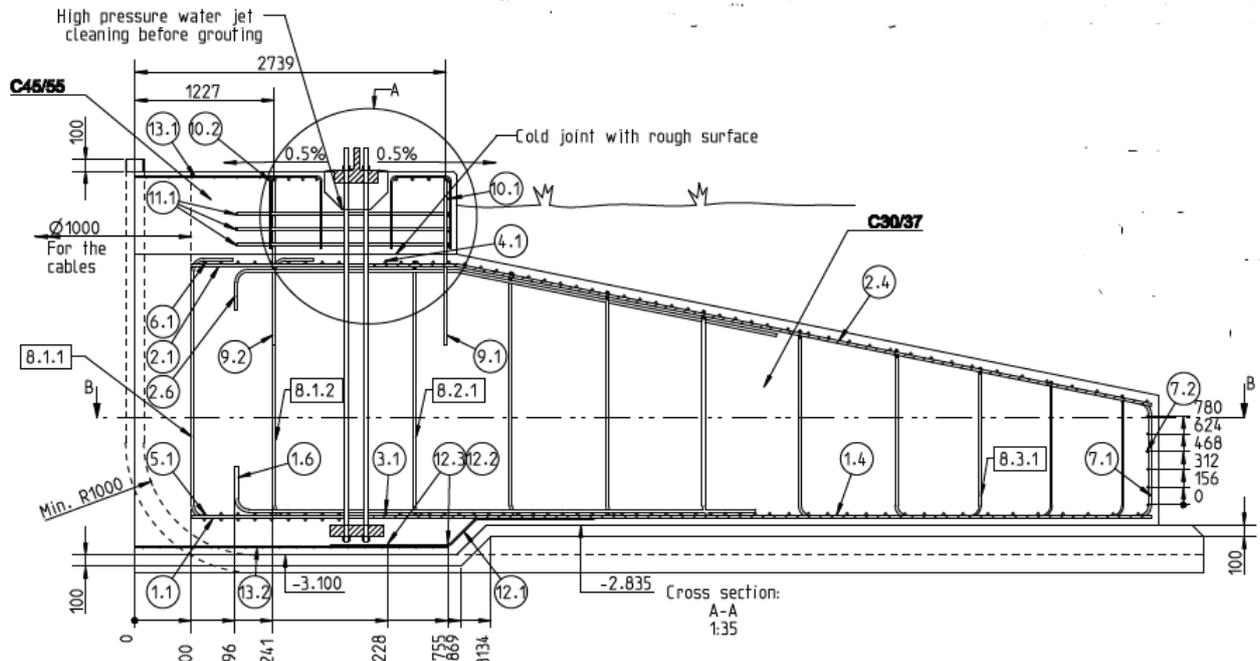


Figura 2 Sezione fondazione tipica VESTAS con indicazione ferri di armatura

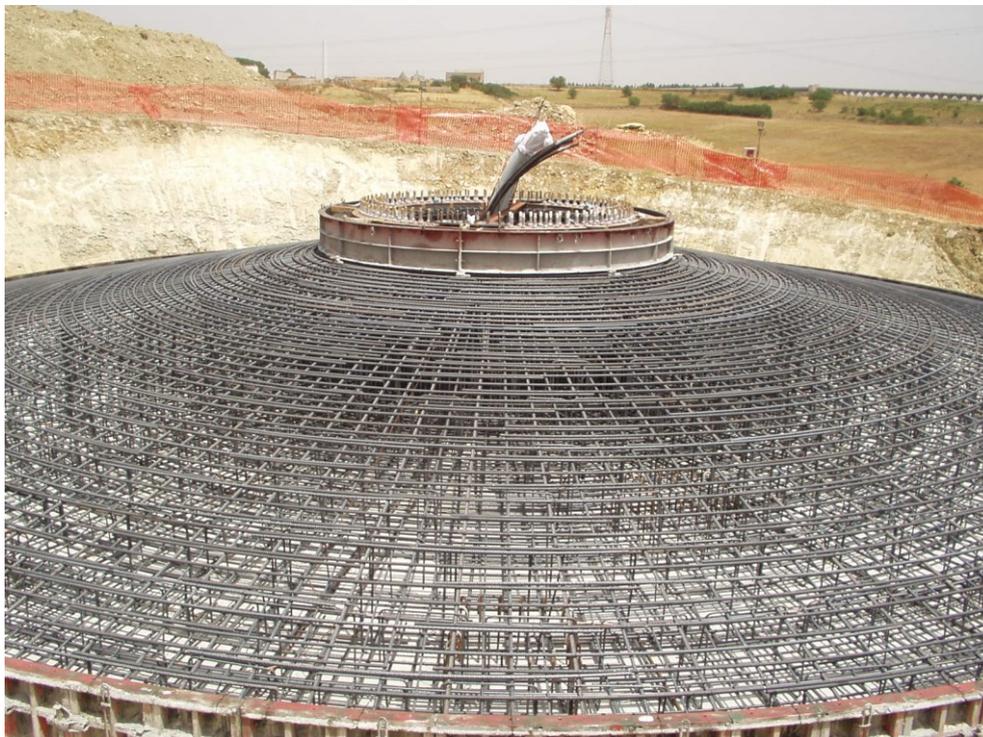


Figura 3 Esempio di plinto circolare armato con gabbia di tirafondi



*Figura 4 Plinto gettato e ricoperto con telo bagnato per ridurre il ritiro in caso di alte temperature*

## B.2 Torre

La torre ha il compito di sostenere la navicella dell'aerogeneratore sulla quale è montato il rotore costituito dalle tre pale. Essa ha quindi funzione di sostegno, ad un'altezza conveniente per raccogliere energia da un flusso con ridotta turbolenza, e quella di trasmettere al suolo le sollecitazioni. I costruttori generalmente mettono a disposizione un'ampia gamma di altezze, in relazione al diametro del rotore.

La struttura è tubolare, di forma conica o tronco-conica, caratterizzata da tratti di spessore uniforme e diametro esterno variabile linearmente con l'altezza.

Le torri a traliccio, adoperate spesso per le piccole turbine, non sono più adottate nel caso dei grandi aerogeneratori. La torre tubolare infatti è suddivisa in tre o più tratti che vengono assemblati in sito tramite bullonatura, perciò i vantaggi che ne derivano sono la maggior facilità di trasporto e costruzione e l'innalzamento può avvenire in tempi relativamente brevi.

Per la macchina di riferimento Vestas V136 la torre è tubolare in acciaio.

Il collegamento tra le diverse sezioni e tra torre e navicella, è effettuato tramite unione flangiata.



*Figura 5 Montaggio secondo troncone torre*



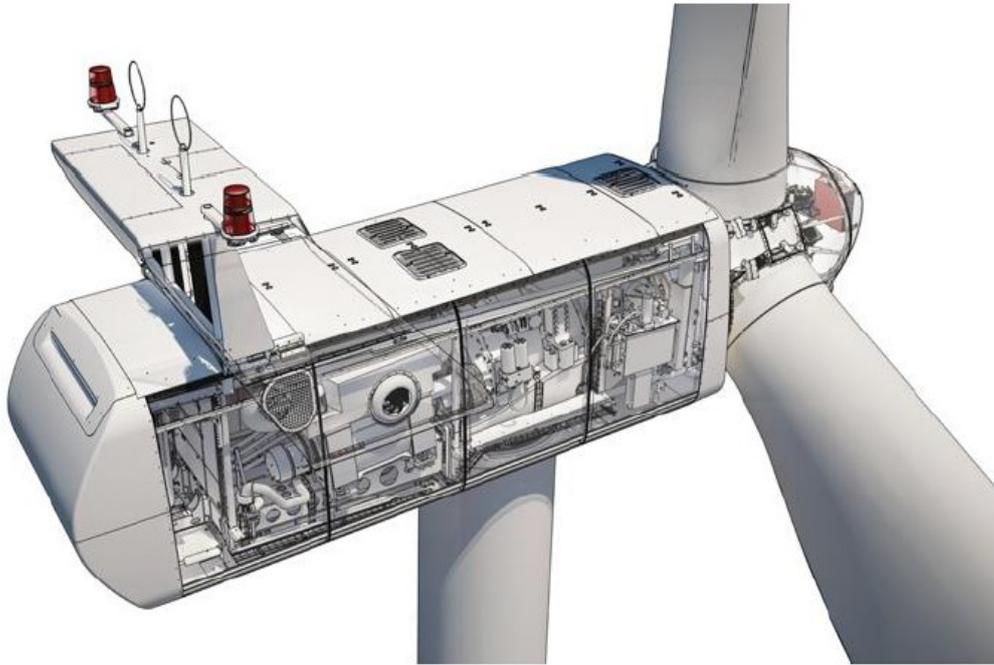
*Figura 6 Montaggio secondo troncone torre*



*Figura 7 Montaggio secondo troncone torre*

### B.3 Navicella

La navicella, posta in cima alla torre, costituisce la macchina vera e propria. Gli elementi principali in essa contenuti sono mostrati nella figura seguente.



*Figura 8 - Immagine dell'interno di una navicella.*

Sul mozzo sono montate le tre pale; segue il sistema di trasmissione con l'eventuale moltiplicatore di giri, il generatore e il sistema di controllo.

Per una descrizione più dettagliata del sistema e delle soluzioni adottate, si veda la relazione A15 "Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici".

Il materiale utilizzato per le pale è la resina epossidica rinforzata con fibre di vetro; questo tipo di materiale, rispetto all'acciaio, ha minor costo di produzione, garantisce minor rumorosità e maggior resistenza a fatica.



*Figura 9 Trasporto Navicella*



*Figura 10 Fasi di montaggio navicella Vestas*

## C. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO E MODALITÀ DI CALCOLO

Le turbine eoliche, o aerogeneratori, rientrano nella definizione di “macchina”, secondo la direttiva Macchine 2006/42/CE (Art.1 e 2). Esse ricadono perciò nel campo di applicazione di tale direttiva ed associate.

Gli aerogeneratori sono definiti inoltre dalla normativa nazionale CEI-EN 61400-1 - “Turbine eoliche, Parte 1: Prescrizioni di progettazione”, recepimento della IEC 61400-1, Ed.3:2005 -“Wind Turbines – Part 1: Design requirements”- e norme collegate.

Tale norma specifica infatti “..i requisiti essenziali di progettazione per assicurare l'integrità tecnica delle turbine eoliche”, con lo scopo di “..fornire un appropriato livello di protezione contro i danni derivanti da tutti i rischi durante il loro arco di vita previsto”. Le turbine perciò vengono progettate, costruite, collaudate, secondo le normative di cui sopra e vengono sottoposte nel loro complesso all'esame di enti indipendenti di certificazione che, in caso di esito positivo, emettono differenti certificati.

La verifica strutturale delle torri è effettuata secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni T.U. 2018.

Esse forniscono “i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.”

Per le eventuali indicazioni applicative, inoltre, permettono il riferimento ad altre normative di comprovata validità. “Quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme”.

## D. CRITERI DI VERIFICA

La verifica strutturale delle torri è effettuata secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni T.U. 2008.

Esse forniscono “..i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.”

Per le eventuali indicazioni applicative, inoltre, permettono il riferimento ad altre normative di comprovata validità. “Quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme”.

Per vari componenti, VESTAS indica le seguenti normative specifiche:

Design Codes	
Tower	IEC 61400-1 Edition 3 Eurocode 3
Blades	DNV-OS-J102 IEC 1024-1 IEC 60721-2-4 IEC 61400 (Part 1, 12 and 23) IEC WT 01 IEC DEFU R25 ISO 2813 DS/EN ISO 12944-2
Gearbox	IEC 61400-4
Generator	IEC 60034
Transformer	IEC 60076-11, IEC 60076-16, CENELEC HD637 S1
Lightning Protection	IEC 62305-1: 2006 IEC 62305-3: 2006 IEC 62305-4: 2006 IEC 61400-24:2010 JIS C 1400-24 2014
Rotating Electrical Machines	IEC 34
Safety of Machinery, Safety-related Parts of Control Systems	IEC 13849-1
Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machines	IEC 60204-1

Figura 11 Norme applicate per progettazione dei singoli componenti<sup>2</sup>

In termini generali, oltre alla IEC 61400-1, Ed.3:2005 “Wind Turbines – Part 1: Design requirements”, le norme internazionali di riferimento sono le seguenti:

- IEC 61400-1 Ed.3 Amendment 1 - Wind Turbines-Part 1: Design requirements

<sup>2</sup> Vedi documento VESTAS nr. 0067-7060 V04 General Description – 4MW Platform – 2019-10-15

- DIN 18800 (norma tedesca): Part 1 - "Structural steelwork, Design and construction" - nov.1990;
- DIN 18800 (norma tedesca): Part 4 - "Structural steelwork, Analysis of safety against buckling of shells" - nov.1990;
- Eurocode 3: "Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten" - apr.1992;
- Eurocode 2: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo" - sett.1995
- Eurocode 8 EN 1998;
- CEI 211-4 del '96 - "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".