



REGIONE BASILICATA



PROVINCIA DI POTENZA



COMUNE DI FORENZA



COMUNE DI MASCHITO



COMUNE DI
RIPACANDIDA

Committente:



Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO
"PARCO EOLICO PIANO DELLA SPINA"

Titolo:

Relazione preliminare sulle strutture

Tavola:

A.11

-Progettista Architettonico/Elettromecc.:

Ing. Paolo Battistella

-Consulenza Geologica:

Dott. Geologo Antonio Viviani

-Responsabile V.I.A.:

Ing. Rocco Sileo



INGEGNERIA - ARCHITETTURA
TOPOGRAFIA

-Consulenza Topografica:

Geom. Rocco Galasso

0	Emissione	10/2021	G.M.	P.B.	Data: Ottobre 2021
N°	REVISIONE	DATA	RED.	APPR.	

Committente:
EN POWER S.r.l.s.
Via Principe Amedeo, 7 – 85010 Pignola (PZ)

Parco Eolico Piano della Spina
RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE
A11

A. PREMESSA	2
B. TIPOLOGIE STRUTTURALI	5
B.1 FONDAZIONE	5
B.2 TORRE	9
B.3 NAVICELLA	11
C. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO E MODALITÀ DI CALCOLO.....	13
D. CRITERI DI VERIFICA.....	14

	Redatto	Approvato	Note	Data
Emissione	G.Montanari	P.Battistella		Ottobre 2021

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 la descrizione dei singoli componenti 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.

Per il Parco Eolico Piano della Spina, viste le caratteristiche del sito sotto il profilo anemologico, orografico e ambientale si è reso necessario individuare due diversi modelli di aerogeneratori di grande taglia.

Gli aerogeneratori scelti sono entrambi prodotti dal costruttore VESTAS e sono:

- modello V162 da 5.6 MW di potenza nominale con altezza mozzo di 125m;
- modello V136 da 4.2 MW di potenza nominale con altezza mozzo di 86 m.

Lo schema costruttivo delle due macchine è quello classico, in cui la navicella è progettata con struttura portante saldata. Al suo interno sono alloggiati il sistema di trasmissione con moltiplicatore di giri, il generatore elettrico e i dispositivi ausiliari.

L'impianto è costituito dai seguenti componenti:

Pale:

- ✓ Numero: 3
- ✓ Lunghezza: 79.35 m V162 e 66.66 m V136
- ✓ Materiale: materiale composito a matrice epossidica rinforzata con fibra di carbonio e Tip metallico.

Rotore:

- ✓ Diametro: 162m per V162 e 136 m per V136
- ✓ Area spazzata: 20612 m² per V162 e 14.527 m² per V136
- ✓ Rotazione: oraria (vista frontale)
- ✓ Orientamento: sopravento
- ✓ Angolo di tilt: 6°
- ✓ Intervallo funzionamento 4.3 – 12.1 rpm (V162) e 5,6 – 14 rpm (V136)

Navicella/mozzo:

- ✓ Pitch System:
 - Tipo: idraulico
 - Numero: uno per ogni pala
 - Intervallo: da -5° a 95° (V162) da -10° a 95° (V136)
 - Tipo: a due stadi;
 - Lubrificazione: olio a pressione

- ✓ Moltiplicatore (Gearbox):
 - Tipo: a due stadi;
 - Lubrificazione: olio a pressione

- ✓ Generatore e convertitore di frequenza:
 - Generatore: sincrono a magneti permanenti (V162) e asincrono a doppia alimentazione (V136).
 - Numero di poli: 36 Potenza: 5650 kW (V162)
 - Numero poli: 6 con Potenza 4.250/ 4.450 kW (V136)
 - Classe Isolamento: H
 - Protezione IP54

- ✓ Trasformatore:
 - Trasformatore trifase a due avvolgimenti
 - Immerso in liquido isolante (V162) - A secco (V136)
 - Design ecocompatibile nel rispetto del regolamento UE 2019/1783 (classe 2) – (V162)
 - Design ecocompatibile nel rispetto del regolamento UE 2014/548 (V136)

- ✓ Sistema Yaw di orientamento della navicella
 - Motori e riduttori
 - Ralla di collegamento
- ✓ Sistema freni
- ✓ Unità di controllo superiore
- ✓ Sistema rilevamento/misura vento
- ✓ Captatori sistema parafulmine

Torre:

- ✓ Tubolare/conica
- ✓ Altezza mozzo: 125m (V162) - 86 m (V136)
- ✓ Collegamento di potenza e di segnale fra la base e la navicella
- ✓ Circuito d'illuminazione
- ✓ Sistema monofase di alimentazione dell'unità di controllo
- ✓ Sistema monofase per l'alimentazione della resistenza di riscaldamento
- ✓ Unità di controllo inferiore
- ✓ Quadro dei servizi ausiliari
- ✓ Quadro di media tensione
- ✓ Collegamenti sistema equipotenziale e di messa a terra.

B. TIPOLOGIE STRUTTURALI

Gli aerogeneratori sono essenzialmente costituiti da tre elementi:

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

B.1 Fondazione

Le torri sono basate su plinti in calcestruzzo, costituiti da una lastra armata con lato e spessore dimensionati secondo la normativa italiana, che trasmettono al terreno momenti e forze provenienti dalla turbina.

La connessione tra torre e fondazione può avvenire mediante gabbia di tirafondi o mediante concio di base.

La gabbia di tirafondi viene immorsata nel calcestruzzo dopo il posizionamento ed il livellamento della flangia di interfaccia superiore. 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 gabbia è attraversata da tubazioni in resina per il passaggio dei cavi e dalla 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).

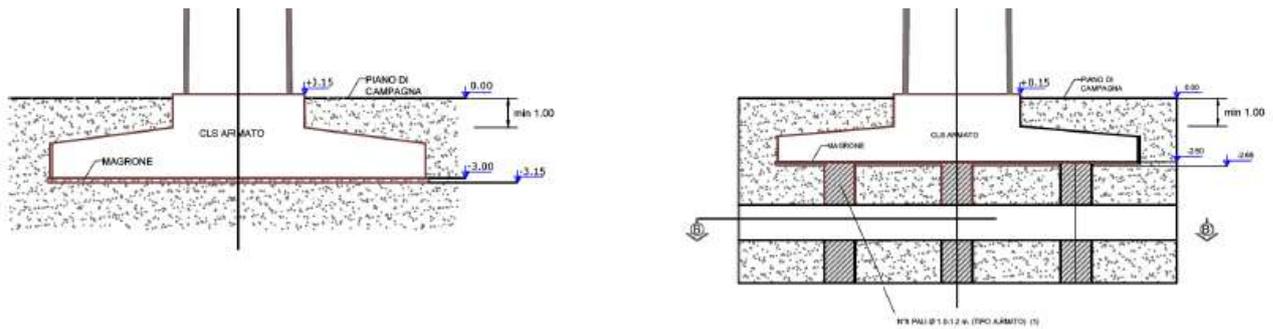


Figura 1 Tipico sezione fondazione (diretta e a pali)

L'esigenza di adottare una fondazione a pali è dettata dalle caratteristiche del terreno che verranno stabilite con appositi studi e con prelievi (carotaggi) su tutte le postazioni.

Attualmente, con i dati a disposizione, si prevede l'utilizzo esclusivo di fondazioni dirette (senza pali).

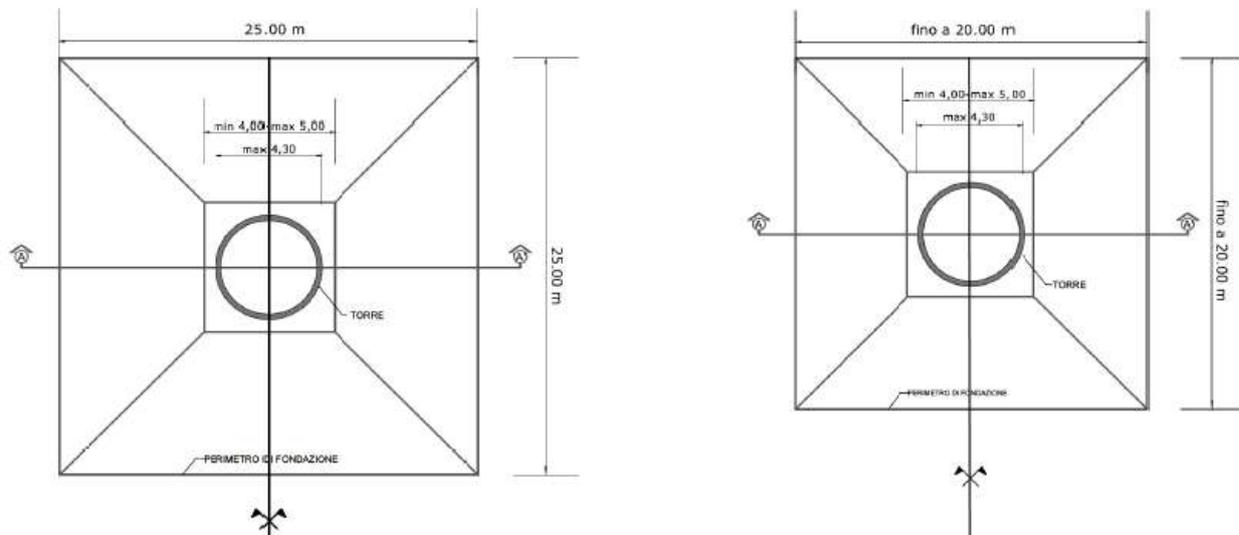


Figura 2 Tipico pianta fondazione (diretta e a pali)

A titolo di esempio, vengono riportati i disegni tipici forniti dal costruttore VESTAS per il modello V117. Come si vede l'orientamento di VESTAS è su una pianta di plinto circolare che garantisce il minimo utilizzo di calcestruzzo e di superficie a fronte di un costo superiore delle casseformi di montaggio.

Il sistema di ancoraggio è a "tirafondi" che sono calcolati per una durata superiore a quelli della vita della turbina.

A fine vite dell'impianto la parte centrale di sommità della fondazione verrà completamente demolita garantendo 1m di terreno libero al di sopra della struttura residua per il riutilizzo agricolo dell'area.

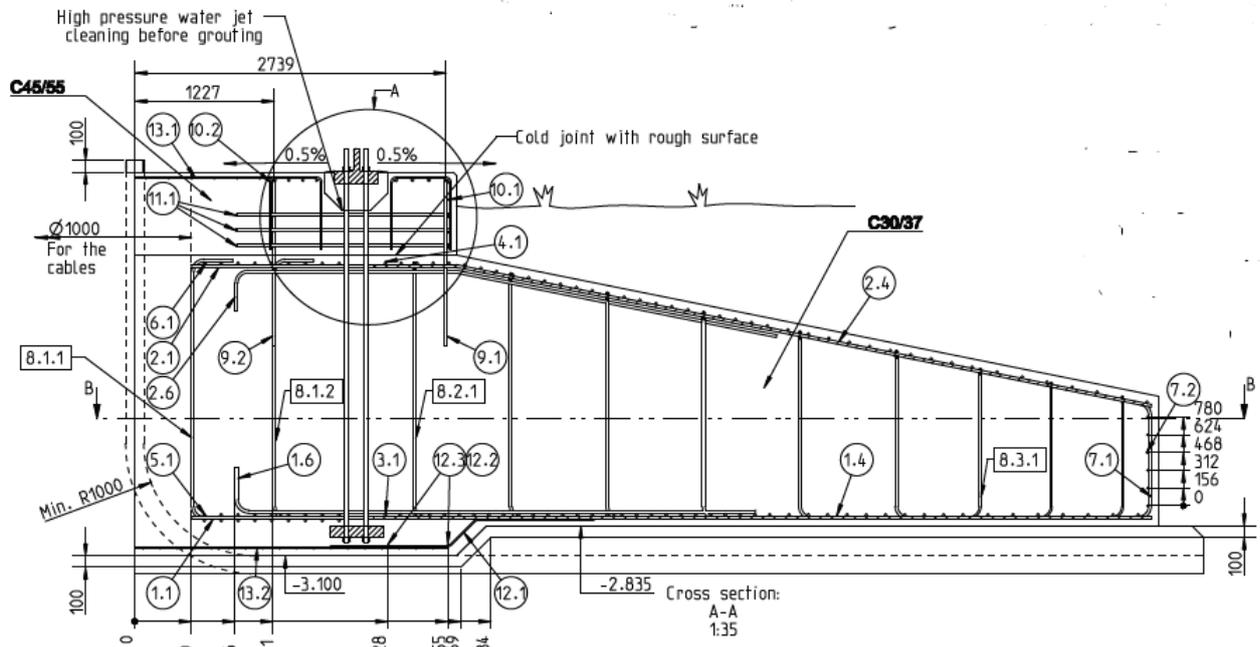


Figura 3 Sezione fondazione tipica VESTAS V117 con indicazione ferri di armatura



Figura 4 Esempio di plinto armato con gabbia di tirafondi



Figura 5 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 V117 la torre è tubolare in acciaio.

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



Figura 6 Montaggio secondo troncone torre



Figura 7 Montaggio secondo troncone torre



Figura 8 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.

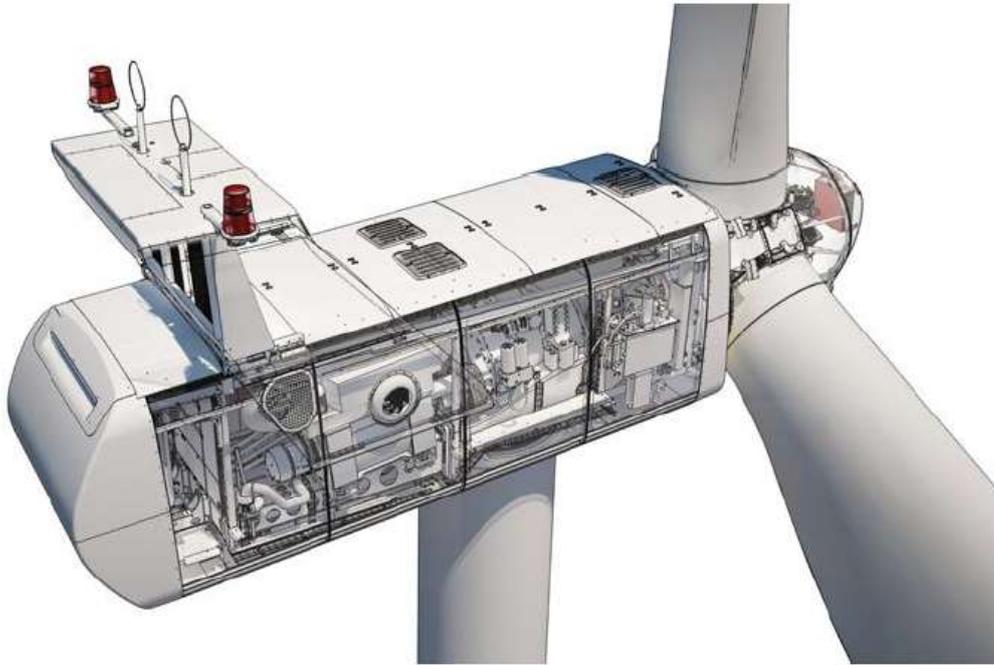


Figura 9 - Immagine dell'interno di una navicella.

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 10 Trasporto Navicella



Figura 11 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”.

Per la parte impiantistica/elettrica si fa riferimento alla normativa CEI. In particolare alle seguenti norme:

- CEI EN 61400-12-1 “Sistemi di generazione a turbina eolica – parte 12-1: Misure delle prestazioni di potenza degli aerogeneratori”
- Norma CEI 211-4 del '96 intitolata “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche” (fornisce gli elementi fondamentali per il calcolo dei campi a 50 Hz generati da linee elettriche aeree, mediante l'uso di modelli bidimensionali);
- CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana”;
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo;
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo
- CEI 106-12 “Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT”.

D. CRITERI DI VERIFICA

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”.

In particolare, oltre alla già citata della 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
- 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.

Facendo riferimento alla sola parte strutturale di sostegno dell’aerogeneratore (Torre + fondazione) i criteri di verifica dovranno contemplare i seguenti aspetti:

- Verifica strutturale ai carichi operativi;
- Verifica sismica;
- Verifica strutturale ai carichi estremi dovuti alla raffica 50ennale;
- Verifica al buckling (instabilità di forma) della torre;
- Verifica a fatica delle saldature circonferenziali;
- Verifica giunzioni bullonate;
- Verifica all’instabilità locale;
- Verifica al ribaltamento del plinto;
- Verifica strutturale plinto di fondazione;
- Verifica dei tirafondi di ancoraggio.