

ENGIE BELCASTRO S.r.l.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 37,2 MW_p RICADENTE NEL TERRITORIO DI BELCASTRO (CZ) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE



Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Roberta ALBANESE
ing. Marco D'ARCANGELO
ing. Alessia NASCENTE
ing. Alessia DECARO
ing. Tommaso MANCINI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Martino LAPENNA
ing. Mariano MARSEGLIA
ing. Giuseppe Federico ZINGARELLI
ing. Dionisio STAFFIERI

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO

| ELABORATO | | TITOLO | COMMESSA | TIPOLOGIA | |
|------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-------------|
| V23 | | VALUTAZIONE DELLA PRODUCIBILITA' | 23007 | D | |
| | | | CODICE ELABORATO | | |
| | | | DC23007D-V23 | | |
| REVISIONE | | Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.) | SOSTITUISCE | SOSTITUITO DA | |
| 01 | | | - | - | |
| | | | NOME FILE | PAGINE | |
| | | | DC23007D-V23 rev01.doc | 17+ copertina+allegato | |
| REV | DATA | | MODIFICA | Elaborato | Controllato |
| 00 | 31/07/23 | Emissione | D'Arcangelo | Miglionico | Pomponio |
| 01 | 15/09/23 | Aggiornamento opere di connessione | D'Arcangelo | Miglionico | Pomponio |
| 02 | | | | | |
| 03 | | | | | |
| 04 | | | | | |
| 05 | | | | | |
| 06 | | | | | |

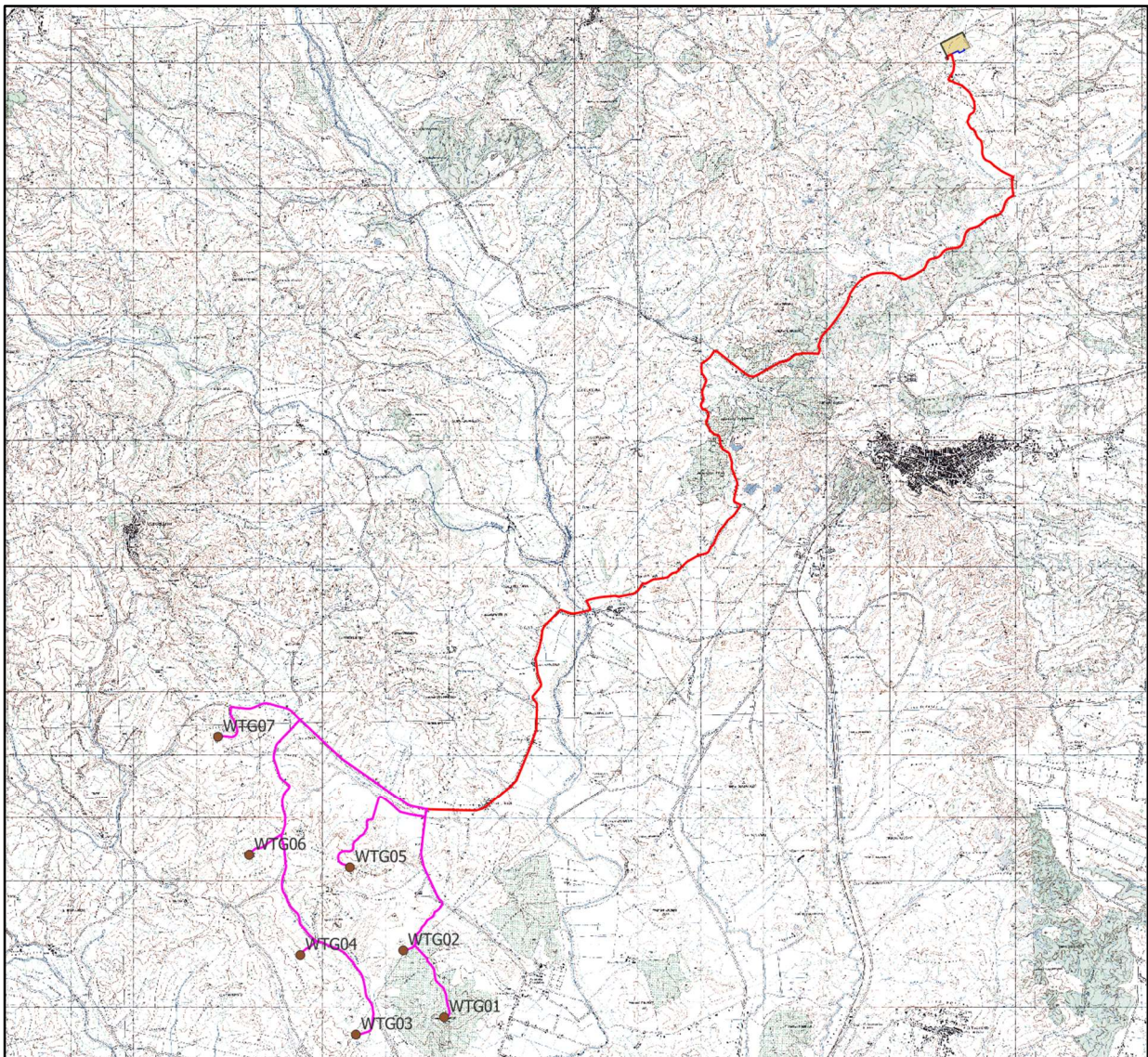
INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. OGGETTO | 2 |
| 2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL CAMPO EOLICO..... | 3 |
| 3. CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE | 4 |
| 4. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO | 6 |
| 4.1 Orografia..... | 6 |
| 4.2 Rugosità | 8 |
| 5. DATI ANEMOLOGICI UTILIZZATI | 9 |
| 6. METODO DI CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ ELETTRICA DELL'AEROGENERATORE | 13 |
| 7. CONSIDERAZIONI E RISULTATI DEI CALCOLI DI PRODUCIBILITÀ..... | 16 |
| 8. ALLEGATO: REPORT DI CALCOLO WINDPRO..... | 17 |

1. OGGETTO

Oggetto della presente è la valutazione della risorsa eolica e stima della producibilità elettrica relativa al progetto di realizzazione di un parco eolico proposto dalla società **ENGIE BELCASTRO S.r.l.**

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da 7 aerogeneratori, del tipo Siemens-Gamesa con rotore pari a 170 m e altezza al tip pari a 220 m, per una potenza complessiva di 37,2 MW, da realizzarsi nel comune di Belcastro (CZ), in cui insistono gli aerogeneratori e parte delle opere di connessione, nei comuni di Marcedusa (CZ), Mesoraca (KR), Roccabernarda (KR) e Cutro (KR) in cui ricade una ulteriore parte delle opere di connessione, e nel comune di Scandale (KR) in cui ricadono la restante parte delle opere di connessione e la cabina utente per il collegamento in antenna a 36 kV alla nuova Stazione Elettrica a 380/150/36 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea RTN a 380 "Belcastro-Sacandale".



2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL CAMPO EOLICO

L'impianto eolico per la produzione di energia elettrica avrà le seguenti caratteristiche generali:

- n° 7 aerogeneratori avente generatore di tipo asincrono, con diametro del rotore pari a 170 m, altezza mozzo pari a 135 m, per un'altezza massima al tip (punta della pala) pari a 220 m, comprensivi al loro interno di cabine elettriche di trasformazione MT/BT;
- rete elettrica interrata a 36 kV per l'interconnessione tra gli aerogeneratori e la cabina utente;
- n° 1 cabina utente che raccoglie le linee AT di interconnessione del parco eolico;
- rete telematica di monitoraggio in fibra ottica per il controllo dell'impianto eolico mediante trasmissione dati via modem o satellitare.

3. CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE

In particolare, trattasi di aerogeneratori trifase con tensione nominale preliminarmente definita in 690 V.

Le pale della macchina sono fissate su un mozzo e nell'insieme costituiscono il rotore che ha diametro massimo di 170 m: il mozzo a sua volta viene collegato ad un sistema di alberi e moltiplicatori di giri per permettere la connessione al generatore elettrico, da cui si dipartono i cavi elettrici di potenza, in bassa tensione verso il trasformatore MT/BT.

Tutti i componenti su menzionati, ad eccezione del rotore, sono ubicati in una cabina, detta navicella, la quale a sua volta, è posta su un supporto cuscinetto in modo da essere facilmente orientabile secondo la direzione del vento. L'intera navicella (realizzata in materiale plastico rinforzato con fibra di vetro) viene posta su di una torre tronco-conica tubolare.

Oltre ai componenti prima detti, vi è un sistema di controllo che esegue diverse funzioni:

- ✓ il controllo della potenza, che viene eseguito ruotando le pale intorno al proprio asse principale in maniera da aumentare o ridurre la superficie esposta al vento, in base al profilo delle pale;
- ✓ il controllo della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad inseguire la direzione del vento, ma che può essere anche utilizzato anche per il controllo della potenza;
- ✓ l'avviamento della macchina allorché è presente un vento di velocità sufficiente, e la fermata della macchina, quando vi è un vento di velocità superiore a quella massima per la quale la macchina è stata progettata.

La velocità del vento di avviamento è la minima velocità del vento che dà la potenza corrispondente al massimo rendimento aerodinamico del rotore. Quando la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento la potenza cresce al crescere della velocità del vento.

La potenza cresce fino alla velocità nominale e poi si mantiene costante fino alla velocità di *Cut-out wind speed* (fuori servizio).

Per ragioni di sicurezza a partire dalla velocità nominale la turbina si regola automaticamente e l'aerogeneratore fornirà la potenza nominale servendosi dei suoi meccanismi di controllo.

L'aerogeneratore si avvicinerà al valore della potenza nominale a seconda delle caratteristiche costruttive della turbina montata: passo fisso, passo variabile, velocità variabile, etc.

Tabella 1 – Scheda tecnica dell'aerogeneratore tipo

| | | |
|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
| ROTORE | Diametro max | 170 m |
| | Area spazzata max | 22.698 m ² |
| | Numero di pale | 3 |
| | Materiale | GRP (CRP) materiale plastico rinforzato con fibra di vetro |
| | Velocità nominale | 10,6 giri/min |
| | Senso di rotazione | orario |
| | Posizione rotore | Sopra vento |
| SISTEMA ELETTRICO | Tipo generatore | Asincrono a 4 poli, doppia alimentazione, collettore ad anelli |
| | Classe di protezione | IP 54 |
| | Tensione di uscita | 690 V |
| | Frequenza | 50 Hz |
| TORRE IN ACCIAIO | Altezza al mozzo | 135 m |
| | Numero segmenti | 3 |
| SISTEMA DI CONTROLLO | Tipo | Microprocessore |
| | Trasmissione segnale | Fibra ottica |
| | Controllo remoto | PC-modem, interfaccia grafica |

4. CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

4.1 Orografia

Il sito di interesse (in località Belcastro) si trova a circa 6 km in direzione Sud-est rispetto al centro abitato di Belcastro, a circa 3,3 km in direzione Sud-sudest rispetto al centro abitato di Marcedusa ed a circa 2,2 km in direzione nordovest dal centro abitato di Botricello. Le quote altimetriche dell'area variano orientativamente tra 70 e 190 m s.l.m., con una orografia caratterizzata dalla presenza di alture e avvallamenti, alternati a zone più pianeggianti o comunque con pendenze più lievi dove è prevista l'installazione degli aerogeneratori. L'intera zona è caratterizzata quindi da una ottima ventosità.

Di seguito alcune immagini rappresentative delle caratteristiche orografiche e di uso del suolo.

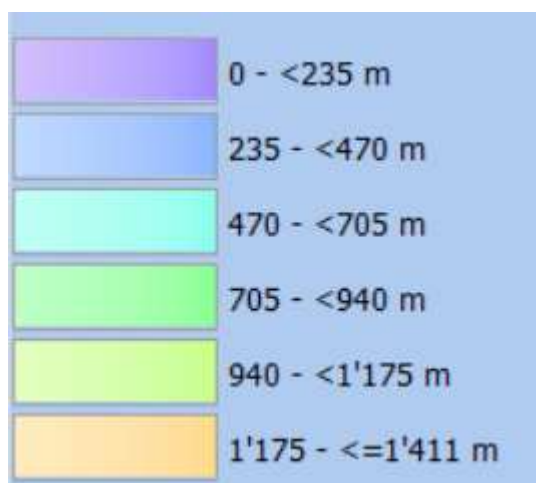
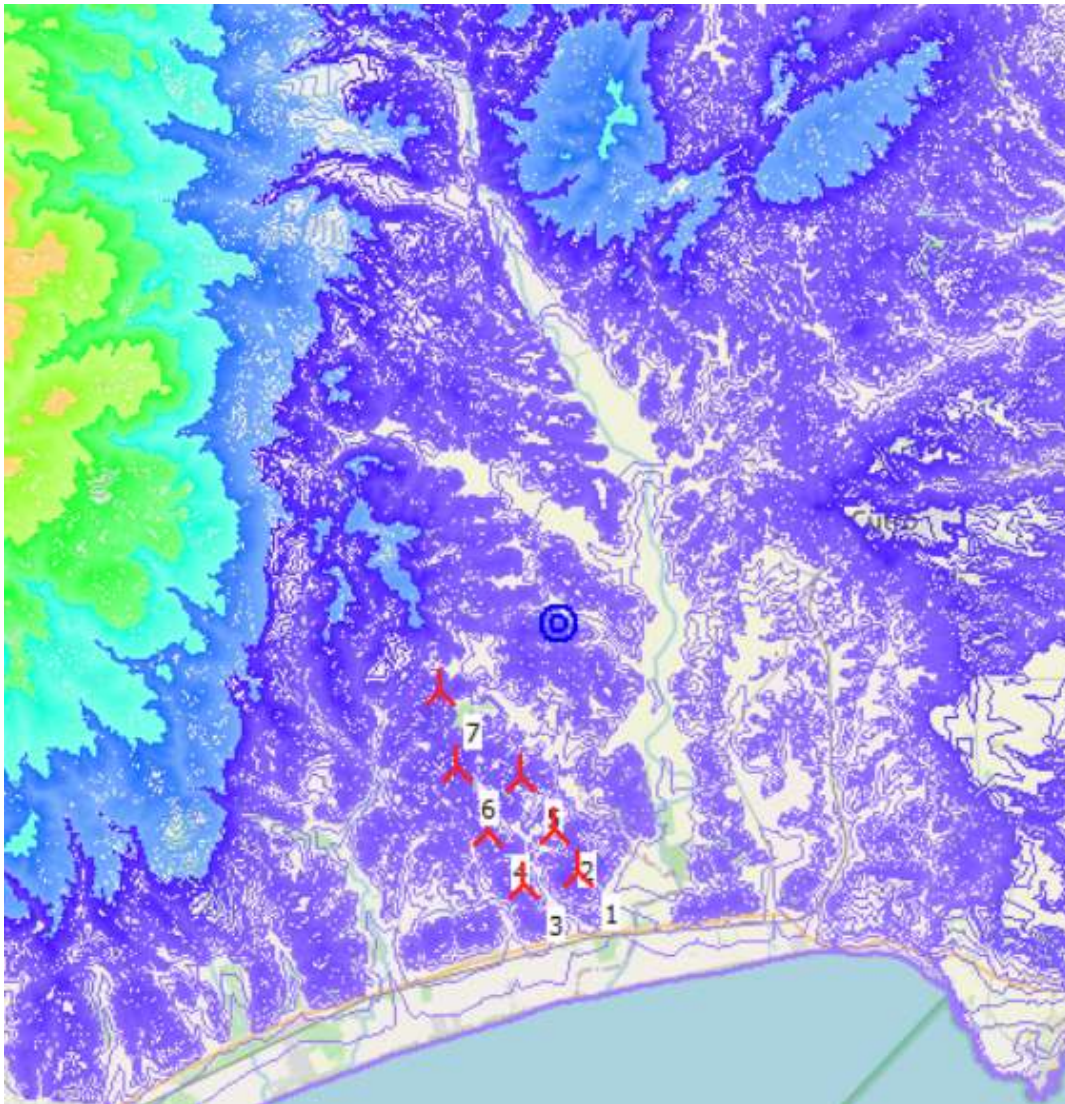


Figura 1 - Orografia del sito di installazione del parco eolico (curve di livello colorate, ogni 10 m)

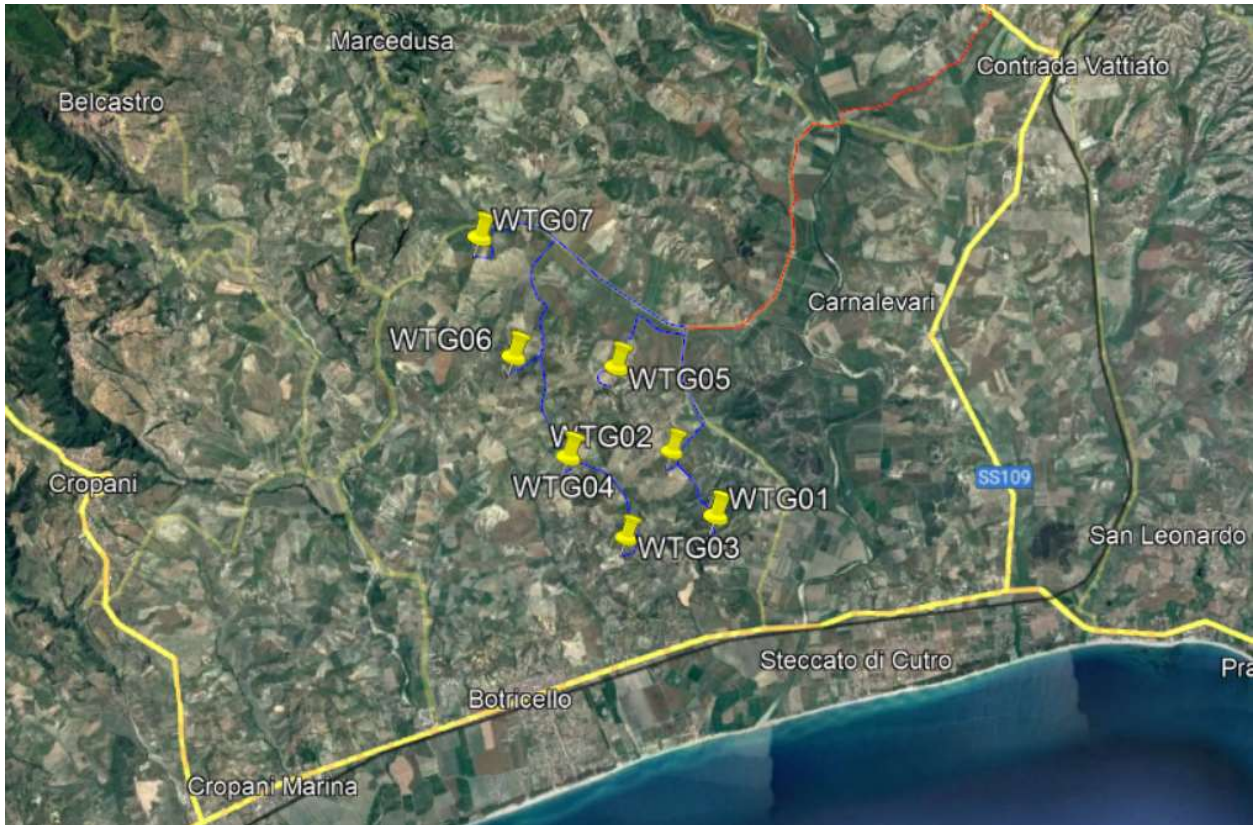


Figura 2 – Ubicazione del parco eolico su ortofoto, (fonte Google Earth).

Le caratteristiche orografiche del sito lasciano presupporre una buona esposizione ai venti, condizionati dalla conformazione orografica, con eventuali correnti ascensionali e "corridoi" in direzione N e SW che seguono le vallate.

4.2 Rugosità

Tutta l'area è caratterizzata dalla presenza di vasti seminativi, alternati a zone alberate e boschive. Nell'ottica di elaborare uno studio preliminare, nel documento fornito è stata assunta una rugosità di base di classe 1,7 perimetrando però le zone alberate e soprattutto i centri abitati, assegnando valori di rugosità più elevati, compresi tra 2 e 3,2. Infatti in genere l'area di influenza dei valori di rugosità, ai fini delle stime anemologiche, è pari ad un raggio di circa 10 km dal sito di interesse.

5. DATI ANEMOLOGICI UTILIZZATI

I dati utilizzati per le valutazioni anemologiche del sito sono elaborazioni di rianalisi alla mesoscala accessibili tramite il software di calcolo WindPro, in particolare della serie EMD-ConWx Meso Data, EUROPE con coordinate N38,96_E016,88 ad altezza 150 m dal suolo, comprendo un arco temporale di 319,9 mesi, ovvero dall'anno 1993 al 2019.

La finestra temporale di osservazione rispetta le variazioni stagionali e permette una corretta valutazione delle caratteristiche del sito, oltre che l'estrapolazione del vento imperturbato ("geostrofico"). In Figura 3, Figura 4 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono mostrati i dati riassuntivi estrapolati dai dati alla mesoscala.

Relazione dati meteo - Risultati principali

Palo di misura: EMD-ConWx Meso Data, EUROPE_N38,96_E016,88 (10)anem4; anem4 Periodo: Periodo completo: 01/01/1993 - 31/08/2019 (319,9 mesi)

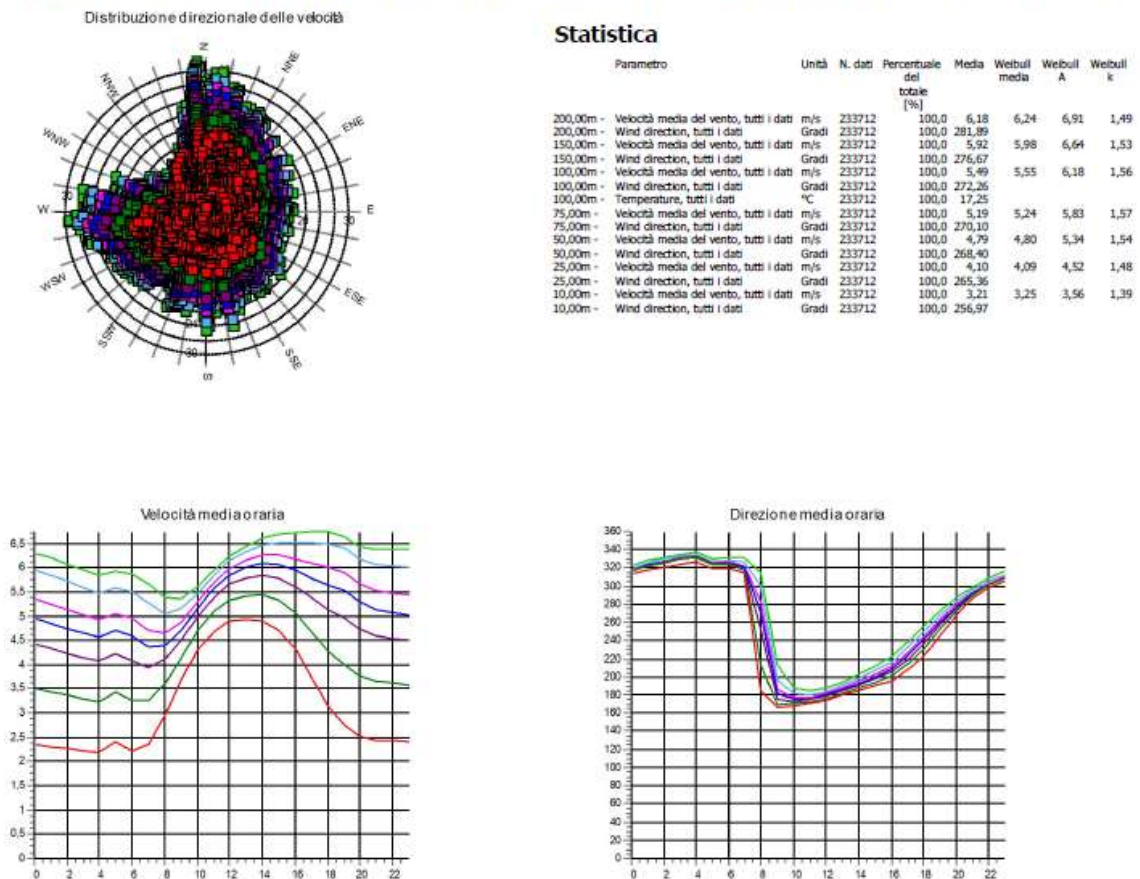


Figura 3 – Relazione dati meteo, risultati principali.

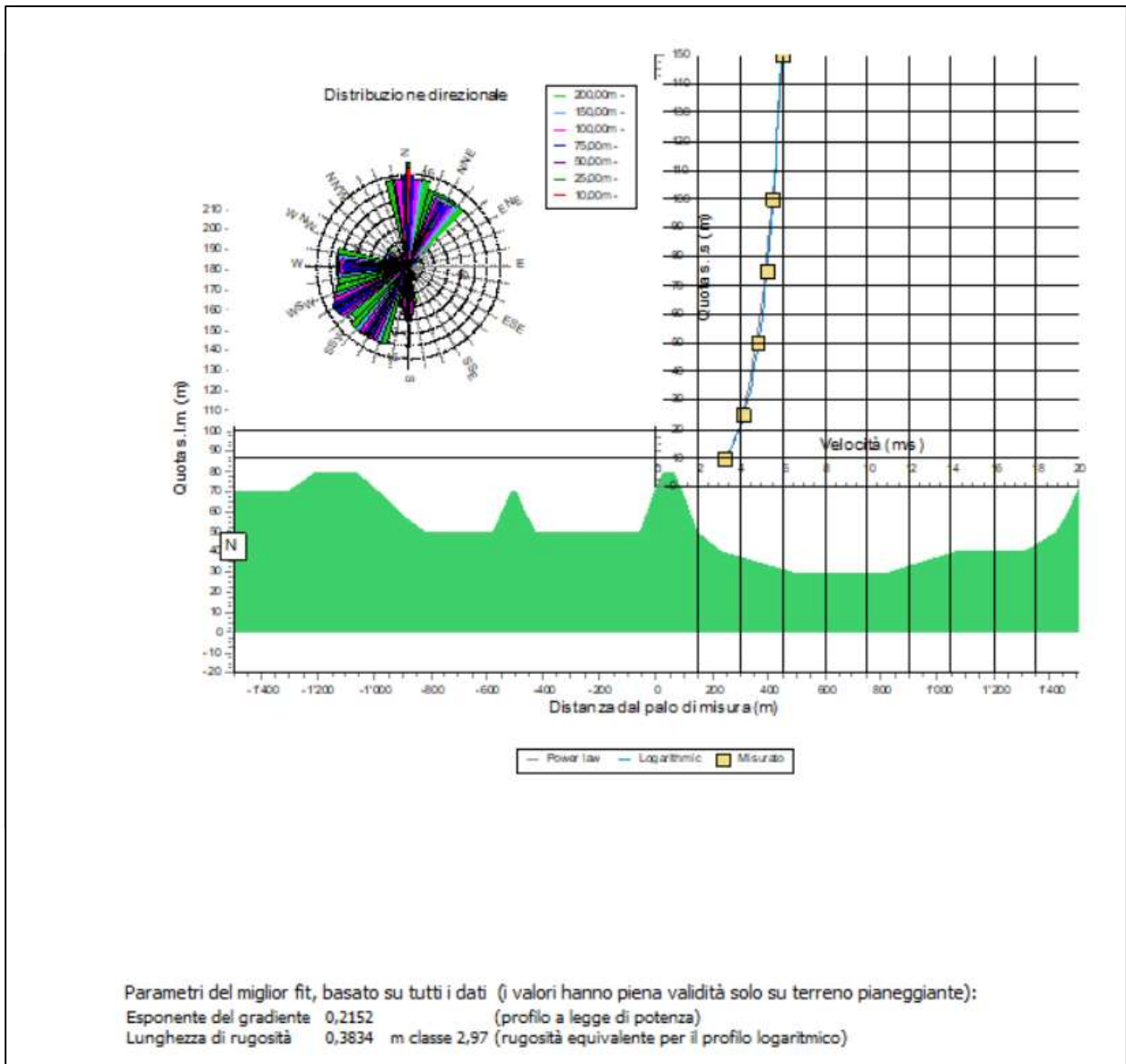


Figura 4 – Relazioni dati meteo, velocità medie mensili a 150 m s.l.t.

Infine, in Figura 5 viene generata la mappa della risorsa eolica tramite il modello di calcolo "Resource" presente nel software WindPro, nello specifico la velocità media del vento a 150 m

sul livello del terreno. Quest'ultima mostra che gli aerogeneratori sono investiti da una velocità media del vento compresa tra 6-6,7 m/s ad un'altezza di 150 m s.l.t.

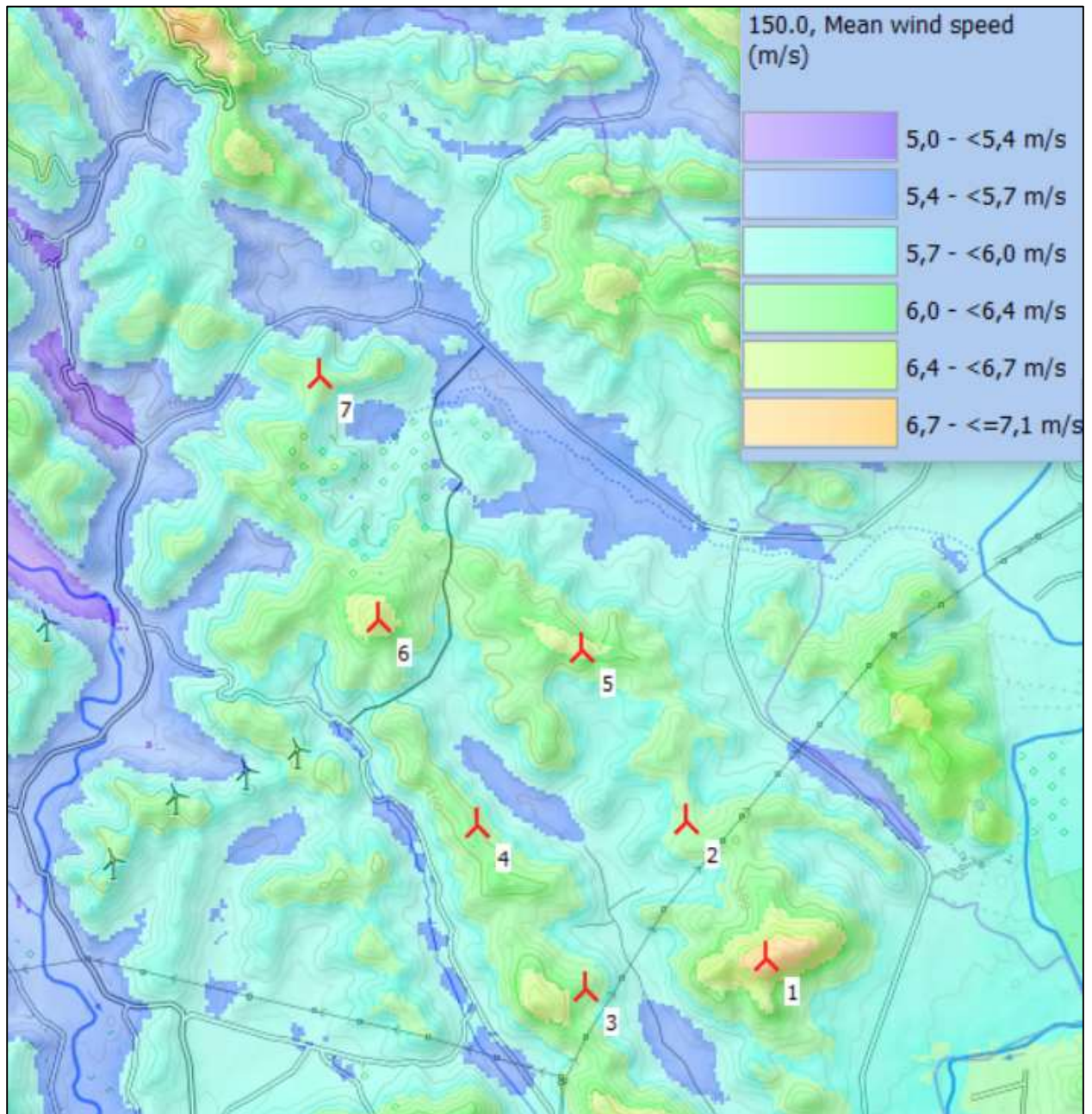


Figura 5 – Mappa della risorsa eolica, velocità media del vento a 150 m s.l.t.

Come ulteriore validazione dei dati, sono state consultate le mappe dell'Atlante Eolico interattivo curato da RSE (Ricerca Sistema Energetico, organo del GSE), che riportano per il sito in oggetto, velocità medie comprese tra 6 e 8 m/s ad una altezza di 150 m dal suolo (Figura 6).

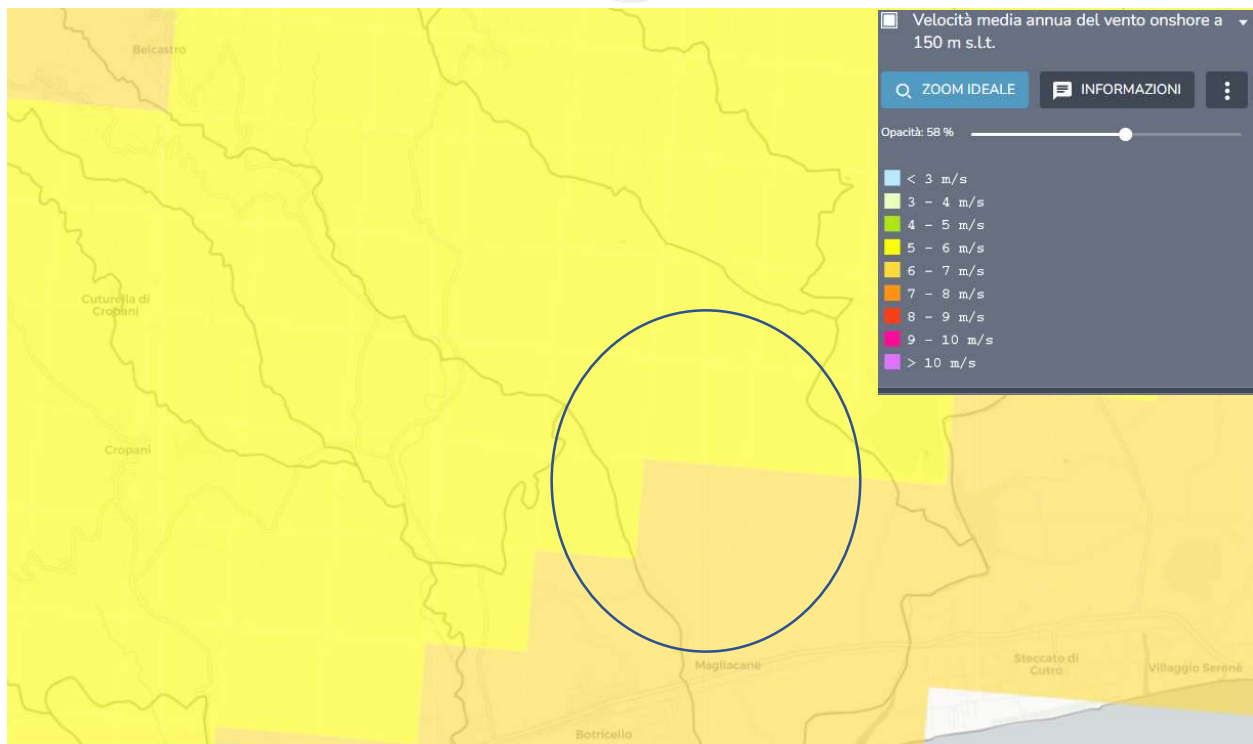


Figura 6- Mappa dell'Atlante Eolico (RSE), velocità media annua a 150 m s.l.t.

6. METODO DI CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ ELETTRICA DELL'AEROGENERATORE

Le elaborazioni, a partire dai dati di vento alla mesoscala, sono state svolte mediante l'uso del software WindPro 3.5, che si avvale a sua volta del modello di calcolo WASP; questo permette di elaborare, a partire dai dati rilevati da un anemometro e da informazioni relative alle specifiche puntuali dell'area analizzata, il vento *geostrofico*, ovvero quel vento che si realizza alla sommità dello strato limite atmosferico, dove il flusso risulta imperturbato dai fenomeni di attrito dovuti alla superficie terrestre.

L'analisi della velocità del vento geostrofico costituisce il percorso obbligato al fine di studiare i fenomeni eolici dell'area in oggetto. La stima della distribuzione della velocità del vento a livello geostrofico permette infatti di ricostruire, sempre utilizzando il modello di calcolo WASP, la distribuzione della velocità al suolo e a vari livelli, in funzione di vari valori di rugosità attribuibili al territorio, ovvero delle mappe climatologiche dei venti caratteristici. Ciò si ottiene in pratica applicando proprio al vento geostrofico le caratteristiche orografiche, di rugosità e le caratteristiche puntuali dell'area di studio.

Di seguito i grafici rappresentativi della statistica anemologica applicata ad un punto baricentrico dell'area di studio.

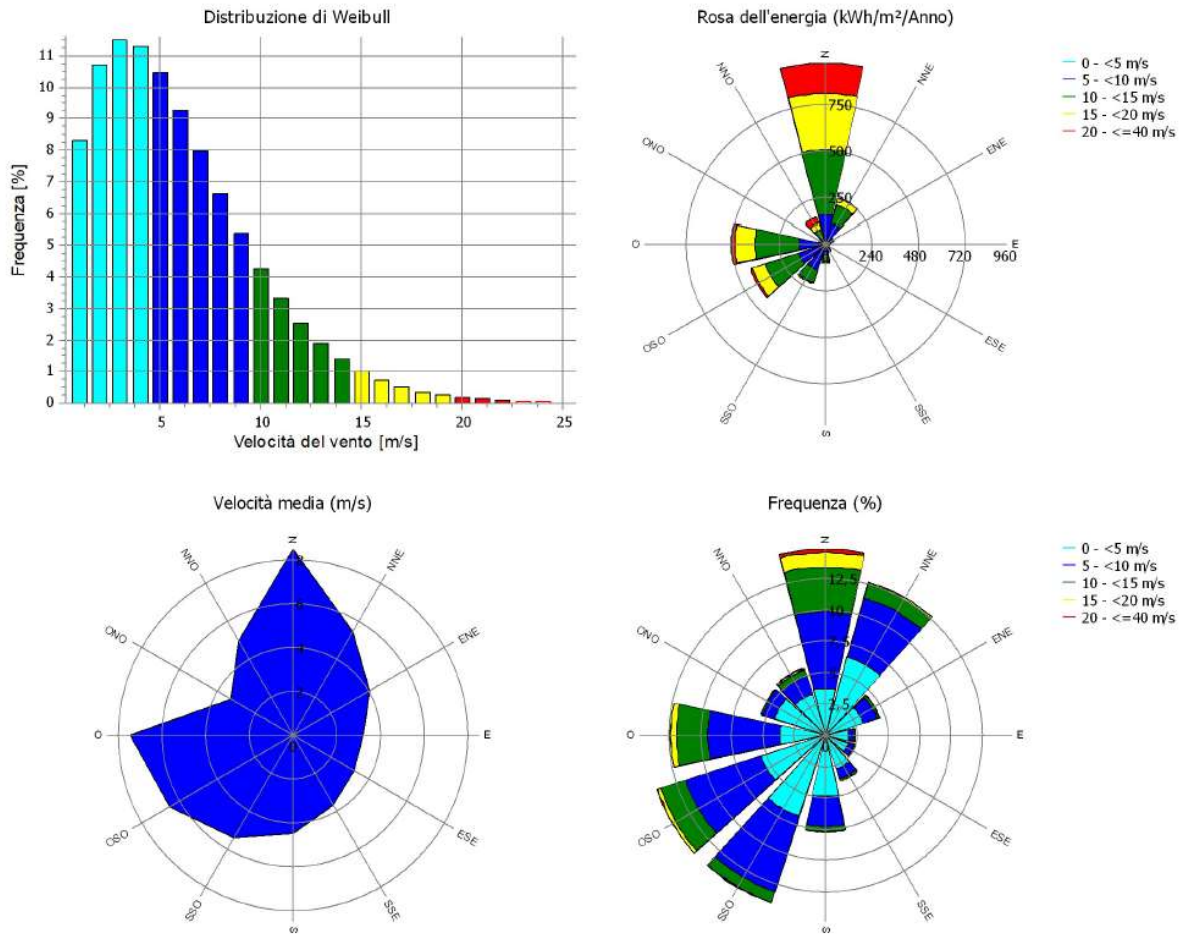


Figura 7- Grafici relativi alla statistica anemologica applicata al sito di installazione del parco eolico in oggetto ad altezza rotore (135 m), elaborati mediante software WindPro 3.5

I venti prevalenti sono nei quadranti **N** e da **OSO a SSO**, ma in particolare i venti provenienti dal quadrante **N** hanno una velocità media più elevata; Infatti, la più elevata potenzialità energetica si ha dal quadrante **N** con un valore approssimativo di **960 [kWh / m² / anno]**.

La **producibilità annua** di energia elettrica dell'impianto è stata effettuata con il software WindPro3.5 tramite il modulo "Park", utilizzando il modello di calcolo "N.O. Jensen (RISØ / EMD) Park 2 2018" con una costante di decadimento della scia **$\alpha = 0,090$** .

È stata automaticamente applicata dal software una correzione della densità dell'aria al centro del sito, in funzione dell'altezza e della temperatura della stazione climatica più vicina (CROTONE V3 2014), al fine di correggere le curve di potenza degli aerogeneratori, utilizzando per il centro del sito una densità dell'aria $\rho = 1.190$ [kg/m3].

La curva di potenza utilizzata è la curva a potenza ridotta "N3-103 db", con una potenza nominale di 5,240 MW per ciascuna turbina eolica. La Figura 8 mostra la curva di potenza, le curve del coefficiente di potenza (C_p) e la spinta assiale (C_t) del WTG per la densità dell'aria corretta.

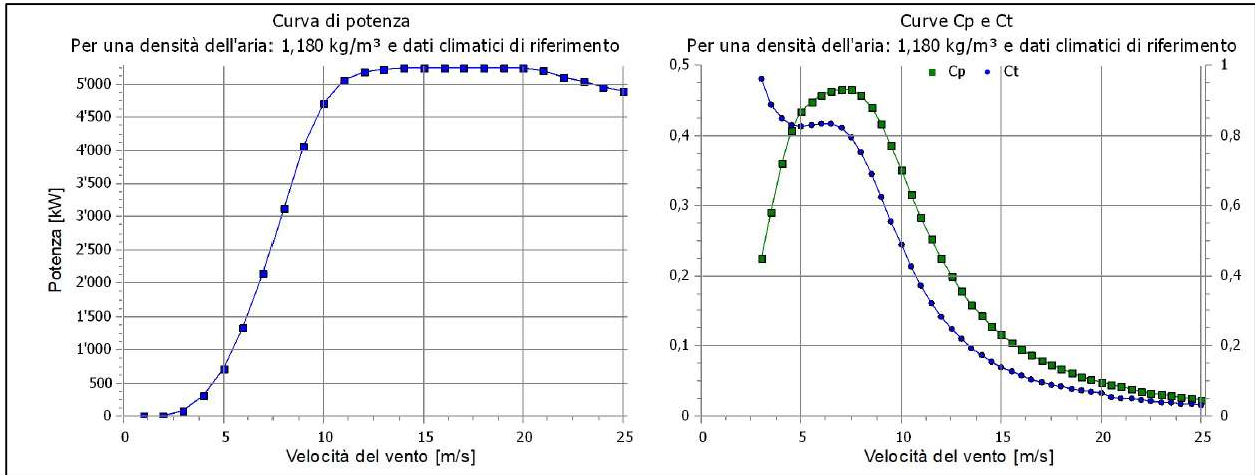


Figura 8 – Curva di potenza (sx) e curve del coefficiente di potenza C_p e del coefficiente di spinta assiale C_t (dx).

Alla producibilità annua lorda viene ridotta del 15%, oltre alle perdite in scia già calcolate nel modulo "Park", per far fronte ad uno scenario di "peggiore ipotesi", tenendo conto delle seguenti perdite di:

- Disponibilità (aerogeneratori, rete esterna al parco eolico, fermo impianto);
- Rete elettrica (perdite elettriche, consumi parassiti dell'impianto);
- Performance aerogeneratori (curve di potenza, isteresi da vento forte, flusso di vento non perfettamente assiale);
- Ambientali;
- Decurtazioni.

7. CONSIDERAZIONI E RISULTATI DEI CALCOLI DI PRODUCIBILITÀ

Il sito scelto per l'installazione del parco eolico presenta venti prevalenti, in termini di frequenza e velocità media, provenienti dai quadranti N e da OSO a SSO, con la presenza di venti con alto potenziale energetico in particolare nel quadrante N.

Per l'aerogeneratore scelto, particolarmente performante grazie all'ampio rotore (diametro rotorico 170 m, altezza al mozzo 135 m), per una altezza massima nel punto più alto pari a 220 m dal suolo, si stima una producibilità annua netta pari a **95.303,4 [MWh/anno]** ed una producibilità specifica annua di circa **2562 ore equivalenti**, avendo considerato una riduzione del 15% per le approssimazioni cautelative descritte nei paragrafi precedenti.

Naturalmente questi risultati preliminari sono lievemente variabili in funzione dello stato di evoluzione tecnologica del generatore scelto, al momento dell'acquisto.

8. ALLEGATO: REPORT DI CALCOLO WINDPRO

Si riporta in allegato il report di calcolo di producibilità mediante software WindPro 3.5.

Si precisa che il numero di ore equivalenti indicato nella prima pagina del report non tiene conto della limitazione di potenza. Il valore da considerare deve essere calcolato come segue:

$$\text{Ore equivalenti} = \frac{\text{Energia netta prodotta}}{\text{Potenza nominale}} = \frac{95.303,4}{37.2} = 2562 \text{ h/anno.}$$