



# PROGETTO DI PARCO EOLICO DI TORREBRUNA COMUNE DI TORREBRUNA (CH)

---

## ***VALUTAZIONE DELLA RISORSA VENTO E DELLA PRODUZIONE ATTESA***

Rev.	Descrizione e motivazioni della revisione	Emesso	Approvato
0	Prima Emissione 10/12/2024	<i>Tecnologie Eoliche</i>	<i>Tecnologie Eoliche</i>

## INDICE

<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>1. MATERIALE UTILIZZATO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Dati di vento.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Layout d'impianto .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Aerogeneratori .....</b>	<b>7</b>
<b>2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Dati anemometrici in input al modello.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Impostazione del modello .....</b>	<b>10</b>
<b>3 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE NETTA ATTESA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Produzione attesa al netto delle perdite .....</b>	<b>11</b>
<b>4 CONCLUSIONI .....</b>	<b>13</b>

## PREMESSA

---

Il Progetto eolico di Torrebruna è situato nel comune della Provincia di Chieti di Torrebruna, in una regione a forte vocazione eolica.

Il nuovo impianto sarà composto da 5 aerogeneratori di potenza nominale unitaria fino a 4,5 MW per una potenza complessiva in immissione di 22,5 MW. Si prevede l'installazione di aerogeneratori con un diametro di rotore fino a 136 metri e un'altezza di mozzo fino a 112 metri, e i cui diametri e altezza di mozzo si combinino per avere un'altezza massima alla punta pala "tip" (altezza mozzo + lunghezza pala) fino a 180 m. A titolo esemplificativo, perché dipendente dalle condizioni di mercato, è stato considerato un modello di aerogeneratore caratterizzato da un diametro di rotore di 136 m e un'altezza al mozzo di 112 m, per un'altezza massima al tip di 180 m.

Il gruppo Edison da oltre due decenni studia la risorsa eolica dell'area mediante stazioni anemometriche di proprietà installate sul territorio, nonché mediante i dati di vento e produzione misurati dai numerosi aerogeneratori installati. La società proponente ha potuto così sviluppare una conoscenza anemologica approfondita della zona che si conferma essere caratterizzata da buona ventosità.

Oltre allo sviluppo del progetto di parco eolico nel Comune di Torrebruna oggetto della presente relazione, il gruppo Edison ha sviluppato e realizzato numerosi altri parchi eolici in Comuni vicini.

## 1. MATERIALE UTILIZZATO

---

Il materiale utilizzato ai fini della presente valutazione di produzione attesa si compone dei seguenti elementi:

- dati di vento, raccolti da numerose stazioni anemometriche ubicate in sito e dai sensori anemometrici installati sulle navicelle degli aerogeneratori esistenti, nonché i dati raccolti da rete satellitare rielaborati con modello WRF-LES della società Vortex, in particolare il prodotto “TIMES” costituito da una serie trentennale di dati
- rapporti di installazione delle stazioni anemometriche, corredati dei certificati di calibrazione degli anemometri utilizzati nelle campagne di misura
- rapporti di manutenzione ordinaria e straordinaria delle stazioni anemometriche
- layout d’impianto composto da n°5 posizioni
- modello di aerogeneratore di grande taglia con il quale realizzare la stima di produzione, ovvero, a titolo esemplificativo, modello Vestas V136 da 4,5 MW con altezza mozzo pari a 112m
- analisi sulla produzione dei parchi eolici esistenti e sui layout di progetto elaborati anche da riconosciuti consulenti terzi quali Fichtner e Deutsche Wind Guard
- modello tridimensionale del terreno con curve di livello equidistanti 10m e rugosità del terreno.

## 1.1 DATI DI VENTO

I dati di vento in possesso e utili per la valutazione della produzione attesa dell'impianto sono quelli registrati da varie stazioni anemometriche installate in sito e anemometri virtuali basati su dati satellitari (modello "TIMES" del fornitore Vortex), situati a distanze tra 0,1 e 12,1 km dagli aerogeneratori alla base del layout di impianto.

Di seguito la denominazione delle stazioni, con codice e posizione:

Nome Punto di misura	Codice Punto di misura	H Torre m s.l.s.	Coordinate UTM-WGS84- Fuso 33		Altitudine s.l.m.
			Longitudine E	Latitudine N	
Schiavi d'Abruzzo	238	30	457385	4631033	1151
Castiglione MM02	507	72	456254	4634286	1211
IR_SC04 (aerogeneratore)	IR_SC04	94	457252	4631068	1185
TIMES Torrebruna	TIMES Tor	112	462196	4637026	709
Roccaspinalveti	244	10	455472	4637966	1204
Roccaspinalveti 2	505	71	454634	4639064	1318
Carpineto Sinello	624	80	461384	4646069	893

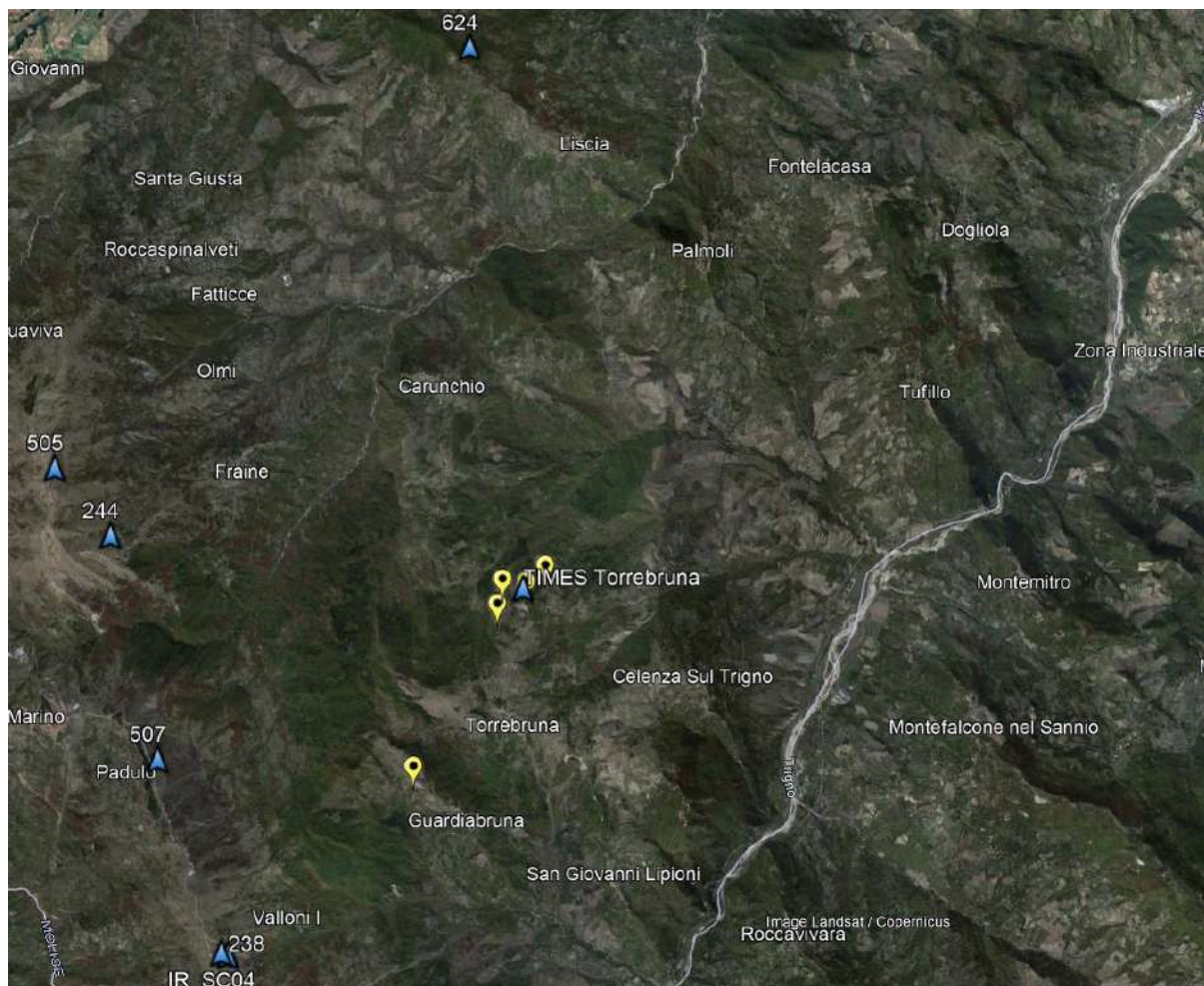
Le date di installazione delle stazioni anemometriche ed il periodo di dati rilevati sono indicati nella tabella seguente.

Nome Punto di misura	Codice Punto di misura	Periodo di rilevazione		Disponibilità %	n° Mesi
		Data inizio	Data fine		
Schiavi d'Abruzzo	238	15/05/2000	01/11/2024	94	293
Castiglione MM02	507	13/12/2013	22/05/2017	98	41
IR_SC04	IR_SC04	20/06/2018	*	98	77
TIMES Torrebruna	TIMES Tor	01/01/1994	12/11/2024	100	370
Roccaspinalveti	244	07/06/2000	*	93	293
Roccaspinalveti 2	505	02/09/2013	17/11/2015	94	26
Carpineto Sinello	624	23/11/2023	*	100	12

\* Stazione ancora attiva

## 1.2 LAYOUT D'IMPIANTO

Nella figura seguente sono riportati su ortofoto il layout d'impianto in progetto "Torrebruna" - in giallo le posizioni degli aerogeneratori previsti - e i punti di misura anemometrica indicati con puntatori triangolari azzurri.



Nella stima della produzione annua attesa non sono stati considerati effetti di scia causati da impianti vicini in quanto gli aerogeneratori esistenti nell'area sono situati a distanze superiori a 2,5 km dagli aerogeneratori del progetto. Gli effetti di scia oltre quella distanza sono stati ritenuti trascurabili.

### 1.3 AEROGENERATORI

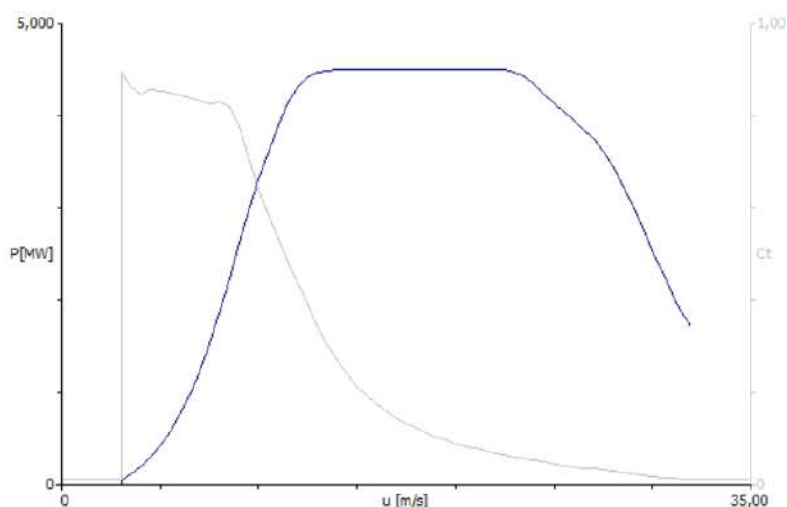
A titolo esemplificativo, il modello di aerogeneratore utilizzato per la valutazione della produzione attesa dell'impianto è il seguente:

Costruttore	Modello	Diametro rotore (m)	Potenza nominale (MW)	H di mozzo (m)	Classe IEC
Vestas	V136	136	4,5	112	IIB / S

La curva di potenza utilizzata è relativa alla densità dell'aria di 1,10 Kg/m<sup>3</sup> corrispondente alla quota altimetrica del mare. Successivamente i codici di calcolo calcolano la densità dell'aria nelle posizioni del layout di impianto.

Nelle figure sottostanti sono rappresentate nel loro sviluppo sia la curva di potenza (P) che la curva di spinta (Ct) per la determinazione delle perdite per effetto scia al variare della velocità del vento

Velocità (m/s)	Potenza (MW)	Ct
3	0,046	0,893
4	0,196	0,847
5	0,423	0,853
6	0,761	0,844
7	1,235	0,832
8	1,858	0,830
9	2,612	0,777
10	3,306	0,641
11	3,898	0,531
12	4,320	0,435
13	4,473	0,342
14	4,493	0,268
15	4,497	0,213
16	4,499	0,174
17	4,500	0,145
18	4,500	0,122
19	4,500	0,104
20	4,500	0,089
21	4,500	0,078
22	4,499	0,069
23	4,472	0,060
24	4,336	0,052
25	4,131	0,045
26	3,951	0,039
27	3,756	0,034
28	3,456	0,028
29	3,033	0,023
30	2,548	0,018
31	2,073	0,014
32	1,721	0,011



**Figura I - Curva di potenza e Ct dell'aerogeneratore Vestas V136 da 4,5MW (estratto da scheda tecnica Vestas)**



## 2 TRATTAMENTO DEI DATI ANEMOMETRICI

I dati anemometrici disponibili per la valutazione della produzione attesa per il progetto eolico sono quelli delle stazioni anemometriche nella zona dell'impianto, nonché le informazioni anemometriche e di produzione raccolte dal sistema SCADA degli aerogeneratori della proponente installati nell'area. È stata tenuta in considerazione anche la serie di dati "TIMES" del fornitore Vortex, localizzata in punto baricentrico del layout e derivante da modellazione WRF-LES basata su dati satellitari ERA5.

Sono state analizzate quindi molteplici fonti di dati per la modellazione in un'area complessa dal punto di vista orografico. Ove necessario è stata simulata l'influenza delle scie generate dagli impianti esistenti sui sensori di misura ed è stata conseguentemente applicata una correzione sulle serie di dati misurati.

Nella seguente tabella sono sinteticamente riportati i risultati ottenuti dall'analisi "TIMES" che consiste in una serie trentennale di dati modellati a partire da serie satellitari.

Codice punto di misura	H anemo- metro (m)	Periodo di rilevazione (mesi)	Disponibilità dati validi (%)	Velocità media di lungo periodo (m/s)
TIMES Torrebruna	112	370	100	6,34*

\* Velocità media rielaborata, come risulta nel modello alla base della relazione

Per l'analisi del gradiente del vento con l'altezza dal suolo si sono potuti analizzare i valori di misura a varie altezze misurati dalla strumentazione anemometrica e considerare i valori risultanti dal modello di calcolo e dai dati satellitari.

Inoltre, sono stati considerati a supporto anche i valori di gradiente verticale della velocità del vento calcolati dal consulente Deutsche Wind Guard.

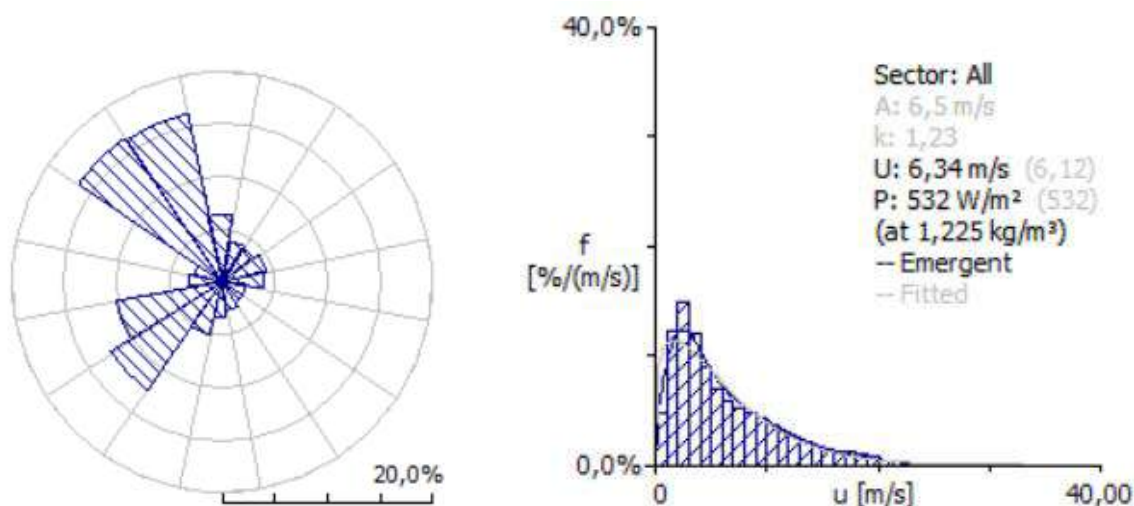
## 2.1 DATI ANEMOMETRICI IN INPUT AL MODELLO

La valutazione di produzione attesa è stata effettuata sulla base dei dati di vento provenienti dalle stazioni anemometriche, dai dati anemometrici misurati presso gli aerogeneratori registrati dal sistema SCADA e da modelli elaborati sulla base di dati satellitari (modello WRF-LES del fornitore Vortex).

A partire dai dati di vento disponibili a varie altezze sono stati estrapolati i valori all'altezza di mozzo dell'aerogeneratore considerato per la stima della produzione energetica, seguendo il profilo del vento specifico del sito.

Ove necessario i dati misurati dagli strumenti anemometrici sono stati correlati sul lungo periodo per avere valori della risorsa eolica sul lungo periodo.

Sotto è rappresentata la rosa del vento in frequenza a 100 metri dal suolo nella posizione del punto di misura "TIMES Torrebruna".



[Nota: La velocità U nei grafici è calcolata dalla distribuzione della velocità, che risulta dall'interpolazione dei dati di velocità divisi in intervalli "bin" e pertanto non è solitamente esattamente equivalente alla media della serie temporale dei dati di vento di origine]

La direzione prevalente da un punto di vista energetico risulta il Sud-Ovest, ma anche la direzione Nord-Ovest è molto rappresentata, soprattutto in termini di frequenza. Un'ulteriore misura anemometrica baricentrica in sito potrà fornire ulteriori dettagli e conferme.

## **2.2     IMPOSTAZIONE DEL MODELLO**

È stato considerato un valore di densità dell'aria pari a  $1,12 \text{ kg/m}^3$ , sulla base dei modelli di calcolo e dei dati satellitari/WRF-LES.

Per l'estrapolazione orizzontale dei valori di ventosità a partire dai punti di misura sono stati utilizzati i codici di calcolo WAsP 12 e il modello FARM della società Vortex. In particolare, il modello FARM risulta frequentemente più adeguato a simulare il flusso di vento in terreni caratterizzati da un livello medio o alto di complessità orografica.

Sono stati comparati i risultati dei codici di calcolo per valutare eventuali discrepanze, anche nelle posizioni di aerogeneratori esistenti della proponente, in zone non lontane, dove sono disponibili dati anemometrici misurati presso le navicelle.

Si è infine scelta una combinazione dei modelli che tenesse in conto la modellazione fluidodinamica FARM della società Vortex.

La stima della produzione è stata effettuata utilizzando la curva di potenza dell'aerogeneratore di riferimento di cui al paragrafo 1.3.

Sono stati stimati gli effetti di scia utilizzando modelli standard, e gli altri parametri di simulazione sono stati impostati sui valori standard secondo lo stato dell'arte del settore eolico.

### 3 VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE NETTA ATTESA

La produzione attesa per l'impianto in oggetto è stata valutata in rapporto al modello di aerogeneratore indicato nel paragrafo 1.3.

La produzione attesa tiene conto delle perdite per la densità dell'aria alla quota del sito, delle perdite per effetto scia che si genera internamente tra gli aerogeneratori dell'impianto.

#### 3.1 PRODUZIONE ATTESA AL NETTO DELLE PERDITE

Il valore di produzione netta attesa viene ottenuto dal processo di calcolo illustrato nei paragrafi precedenti e tiene conto, oltre alle perdite dovute alla scia degli aerogeneratori e alla densità dell'aria alla quota del sito, (i) delle perdite elettriche, (ii) delle perdite di performance degli aerogeneratori (ad esempio per effetti ambientali, quali la temperatura), (iii) della disponibilità di rete, (iv) delle perdite per *noise and wind sector management* e (v) della disponibilità di aerogeneratori e Balance of Plant (BoP).

Costruttore	Potenza AG	Numero AG	Potenza impianto	H mozzo	Perdite medie scia	Produzione netta (incl. WTG/BoP Av.)		Incertezza - periodo 10 anni
	(MW)	(N)	(MW)	(m)	%	(GWh/y)	(ore/y)	%
Vestas V136	4,5	5	22,5	112	3,5%	49,5	2200	15

I valori delle perdite elettriche, di performance degli aerogeneratori e delle altre perdite sono basati su valori medi relativi a impianti in esercizio della proponente di simile potenza elettrica complessiva.

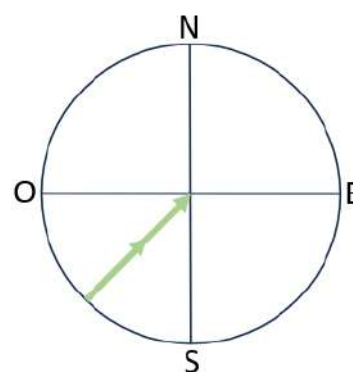
Nella tabella sotto sono indicate le stime di produzione annua lorda di ogni singolo aerogeneratore, e i medesimi valori decurtati delle perdite di scia.

Aerogeneratore	Produzione annua lorda [GWh]	Produzione annua lorda - scie [GWh]	Perdite di scia [%]
WTG01	12,5	12,5	0,2
WTG02	11,7	11,4	2,7
WTG03	10,8	10,6	1,8
WTG04	11,4	10,9	5,2
WTG05	11,1	10,2	8,1
<b>Parco eolico</b>	<b>57,6</b>	<b>55,6</b>	<b>3,5%</b>

La velocità media del vento nelle posizioni del progetto in esame ad altezza mozzo è stimata attorno a ca. 6,2 m/s.

Nella seguente tabella è indicata la **direzione prevalente per il layout di progetto, 225°, in termini di rilevanza energetica** sulle posizioni del layout, sulla rosa a 16 settori, stimata nel modello di calcolo utilizzato per la presente relazione. Nella tabella è anche indicata la distribuzione di frequenza della direzione di provenienza del vento, in percentuale. La direzione Nord-Ovest risulta comunque molto rilevante in termini di energia e frequenza.

Settore	Direzione [°]	Energia [GWh]	Frequenza [%]
1	0	4,5	8,1
2	22,5	1,3	4,6
3	45	0,4	3,9
4	67,5	0,2	4,1
5	90	0,2	3,5
6	112,5	0,1	2,4
7	135	0,1	2,3
8	157,5	0,2	2,9
9	180	1,2	3,9
10	202,5	4,4	6,3
11	225	14,1	11,9
12	247,5	9,3	8,8
13	270	1,8	3,5
14	292,5	0,6	3,1
15	315	7,7	14,7
16	337,5	11,7	16,1
<b>Somma:</b>		<b>57,6</b>	<b>100,0</b>



## 4 CONCLUSIONI

---

Con il presente rapporto sono stati determinati i risultati di stima della produzione attesa del progetto di impianto eolico di Torrebruna, ubicato in Abruzzo, in Provincia di Chieti, nel territorio comunale di Torrebruna.

L'attività è iniziata con la validazione e l'analisi statistica dei dati disponibili rilevati dai sensori anemometrici e da rete satellitare per l'area di interesse. È stata verificata la ventosità di lungo periodo mediante correlazione con serie pluriennali di dati, ed è stato messo a punto un modello di calcolo per l'estrapolazione verticale ed orizzontale della ventosità nell'area del layout di progetto.

Il calcolo della produzione attesa media ( $P_{50\%}$ ) è stato effettuato sulla base di tutti i dati disponibili, utilizzando al meglio il codice di calcolo numerico e, nel caso in cui il processo offriva la possibilità di più scelte alternative, adottando i criteri di calcolo ritenuti più verosimili per le caratteristiche specifiche del sito e/o maggiormente conservativi, allo scopo di ridurre il rischio di sopravvalutazione della produzione.