

**VENTO SOLARE SRL**  
 VIA DELLA CHIMICA 103 - 85100  
 POTENZA  
 P.IVA 01981860768  
[ventosolaresrl@pec.it](mailto:ventosolaresrl@pec.it)



*CODE*  
**SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.002.00**

*PAGE*  
 1 di/of 16

**AVAILABLE LANGUAGE: IT**

**IMPIANTO EOLICO SERRACAPRIOLA  
 COMUNE DI  
 SERRACAPRIOLA (FG)**

**Valutazione risorsa eolica ed analisi di  
 producibilità**

File name: SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.002.00\_Valutazione risorsa eolica ed analisi di producibilità.docx

<b>00</b>	<b>26/10/2023</b>	<b>EMISSIONE</b>	<b>SCS INGEGNERIA</b>	<b>SCS INGEGNERIA</b>	<b>SCS INGEGNERIA</b>
					<b>A.Sergi</b>
<b>REV</b>	<b>DATE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>
<b>IMPIANTO / Plant</b>		<b>CODE</b>			
<b>IMPIANTO EOLICO</b>		<b>GROUP</b>	<b>FUNCION</b>	<b>TYPE</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>SERRACAPRIOLA</b>		<b>SCS</b>	<b>DES</b>	<b>R</b>	<b>C I V I T A W</b>
					<b>6 4 1 1 0 0 2 0 0</b>
<b>CLASSIFICATION:</b>			<b>UTILIZATION SCOPE : PROGETTO DEFINITIVO</b>		

## **INDICE**

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1    CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....	3
2. INQUADRAMENTO DEL SITO .....	4
3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA .....	6
4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO .....	7
5. MODELLO DI VALUTAZIONE DELLA RISORSA EOLICA .....	8
6. RISULTATI .....	16

<b>SCS INGEGNERIA S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02100810742		<i>CODE</i> <b>SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.002.00</b>
		<i>PAGE</i> 3 di/of 16

## **1. INTRODUZIONE**

La società Vento Solare S.r.l. è promotrice di un progetto che vede l'installazione di un impianto di generazione da fonte rinnovabile eolica integrato da un sistema di accumulo e relative opere di connessione, all'interno del territorio comunale di Serracapriola, in provincia di Foggia.

Nello specifico, l'impianto prevede la costruzione di sette aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6MW, per una potenza complessiva di 42MW. Il sistema di accumulo invece è caratterizzato da una potenza pari a 12MW.

Il punto di connessione individuato per l'immissione dell'energia prodotta dall'impianto eolico integrato dal BESS, è individuato presso l'ampliamento 380/36 kV della costruenda stazione elettrica di trasformazione RTN 380/150 kV Torremaggiore da inserire in entrata -esce alla linea RTN "San Severo 380 - Rotello 380", ubicata nel comune di Torremaggiore (provincia di Foggia).

In considerazione dell'allocazione dell'impianto BESS integrativo dell'impianto eolico in prossimità del punto di connessione su Rete di Trasmissione Nazionale suddetto, il vettoriamento dell'energia prodotta dalle torri eoliche verso il punto di connessione viene eseguito a mezzo di un cavidotto AT esercito a 36 kV che si sviluppa a partire dalla Collector Cabin di impianto sino alla Collector Cabin dell'impianto BESS attraversando i territori comunali di Serracapriola e Torremaggiore (entrambi appartenenti alla provincia di Foggia). Da quest'ultima, un cavidotto AT esercito a 36 kV s'attesta definitivamente allo stallo AT 36 kV assegnato all'interno della stazione 380/36 kV di Torremaggiore ai fini dello scambio d'energia con la Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale.

### **1.1 CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

La presente relazione costituisce il documento sulla valutazione della risorsa eolica e sull'analisi di producibilità riguardante i nuovi aerogeneratori che sono previsti in sito.

Il capitolo 2 descrive in generale il sito e il layout degli aerogeneratori di nuova costruzione.

Nel capitolo 3 vengono descritte le caratteristiche anemologiche del sito.

Il capitolo 4 illustra le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di riferimento e il capitolo 5 tratta del modello di analisi di producibilità.

Infine, il capitolo 6 riporta i risultati dell'analisi di producibilità.

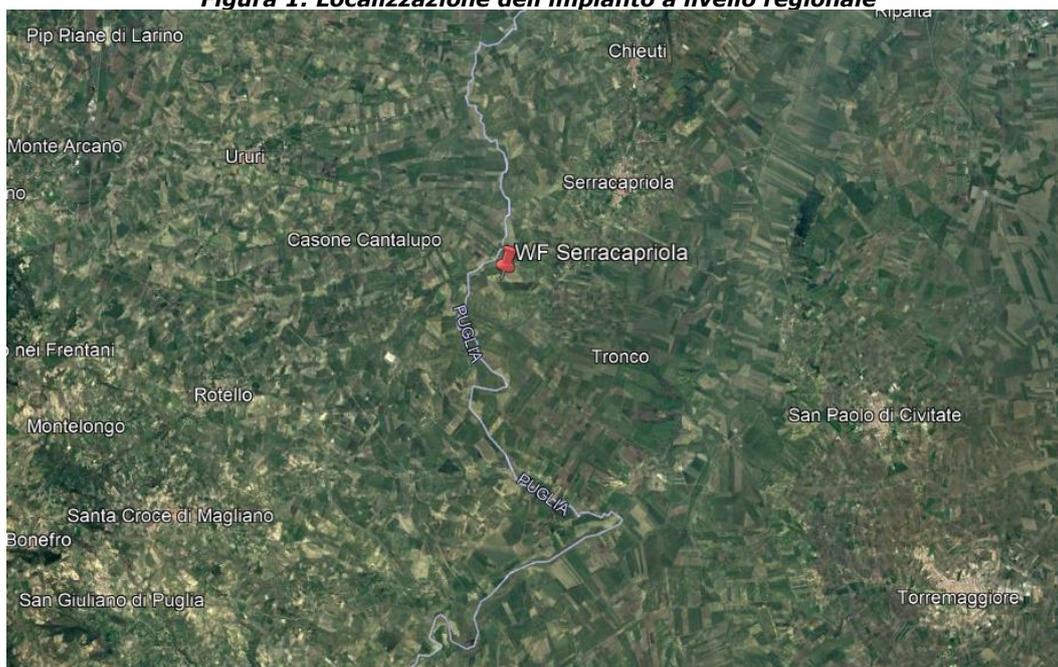
## 2. INQUADRAMENTO DEL SITO

Il sito di installazione delle turbine è ubicato nel territorio comunale di Serracapriola (FG). La zona interessata dall'impianto si sviluppa in un'area collinare della Puglia sita a circa 16 km dalla costa Adriatica e 50 km a Nord-Est di Foggia, al confine con la Regione Molise.

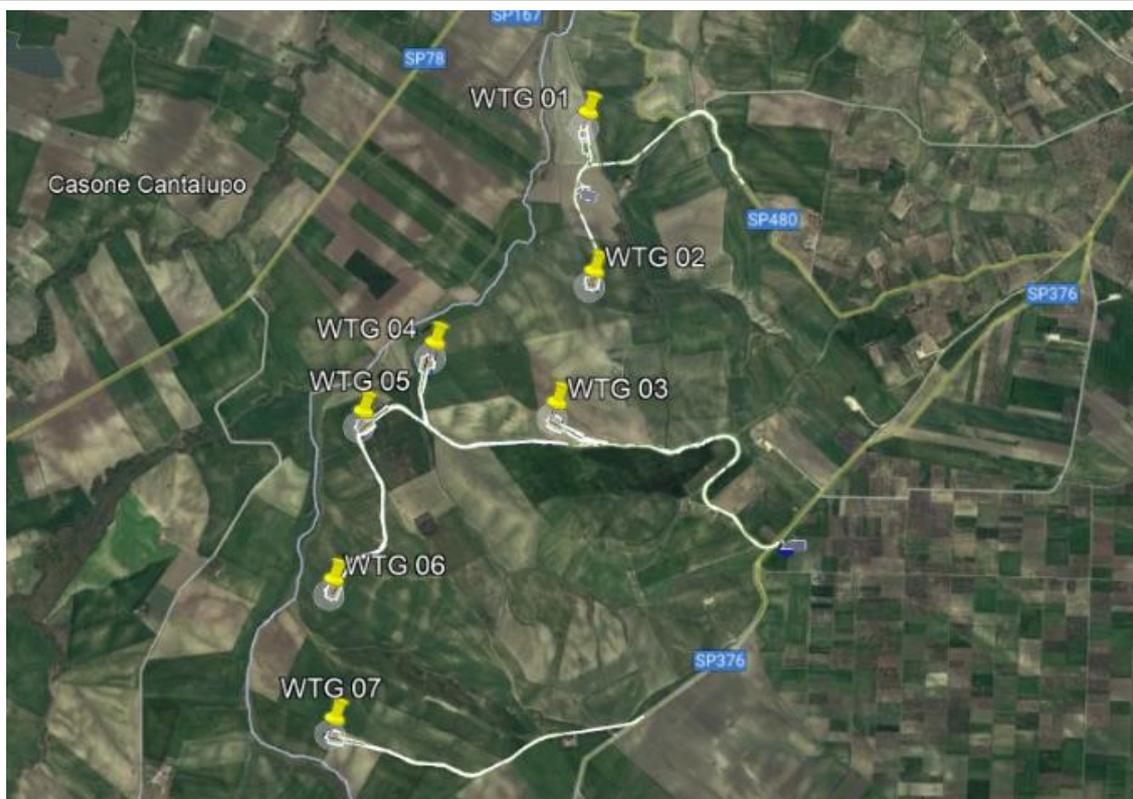
Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di progetto e la configurazione proposta su ortofoto.



**Figura 1: Localizzazione dell'impianto a livello regionale**



**Figura 2: Individuazione area di impianto su Ortofoto**



**Figura 3 – Individuazione su ortofoto dell’impianto in progetto**

Nella tabella che segue sono individuate le coordinate delle turbine eoliche e i riferimenti catastali delle particelle nelle quali ricadono le fondazioni:

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
Posizioni Aerogeneratori					
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLA
WTG 1	509825,14	4626986,16	SERRACAPRIOLA	31	102
WTG 2	509858,56	4626142,62	SERRACAPRIOLA	42	69
WTG 3	509662,00	4625446,02	SERRACAPRIOLA	42	22
WTG 4	509019,20	4625763,85	SERRACAPRIOLA	42	146
WTG 5	508644,91	4625399,56	SERRACAPRIOLA	42	29
WTG 6	508493,88	4624513,80	SERRACAPRIOLA	52	22
WTG 7	508501,91	4623783,32	SERRACAPRIOLA	52	13

**Tabella 1: Coordinate aerogeneratori dell’impianto eolico di Serracapriola**

### 3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Il sito in oggetto è caratterizzato da una buona ventosità. In particolare è situato in una delle zone maggiormente ventose di tutto il paese, come mostrato in figura seguente, estratta dall'Atlante Eolico di RSE SpA.



**Figura 4: Estratto Atlante Eolico RSE**

L'impianto sfrutterebbe quindi appieno la risorsa eolica e garantirebbe elevati valori di producibilità.

La risorsa è stata definita tramite il database EMD Default Meso Scaler utilizzando un intervallo temporale compreso tra il 01/01/1999 ed il 01/01/2023.

I dati forniscono la direzione del vento e la sua velocità, informazioni necessarie per il calcolo della stima di producibilità. Viene, inoltre, fornita la temperatura ambiente che ci consente di determinare la densità dell'aria, altra variabile nella stima di producibilità.

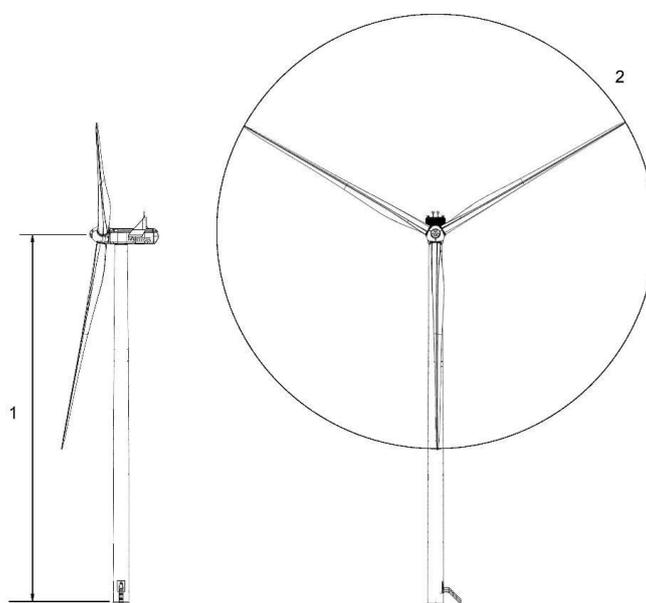
#### 4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO

Gli aerogeneratori che verranno installati nel nuovo impianto di "Serracapriola" saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a 6,0 MW. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito, nella fase di acquisto della macchina, e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva. Si riportano di seguito le principali caratteristiche tecniche di un aerogeneratore con potenza nominale pari a 6,0 MW:

Potenza nominale	6 MW
Diametro del rotore	163 m
Lunghezza della pala	79,7 m
Area spazzata	20.867 m <sup>2</sup>
Altezza al mozzo	138 m
Cut-in Wind Speed	3 m/s
V nominale	13,5 m/s
Cut-out Wind Speed	26 m/s

**Tabella 2: Caratteristiche dell'aerogeneratore**

Nell'immagine seguente è rappresentata una turbina con rotore di diametro pari a 163 m e potenza pari a 6,0 MW:



**Figura 5-Vista e caratteristiche dell'aerogeneratore di riferimento:1=altezza al mozzo (138m); 2=Diametro Rotore (163m)**

Ogni aerogeneratore è equipaggiato di generatore elettrico asincrono, di tipo DFIG (Directly Fed Induced Generator) che converte l'energia cinetica in energia elettrica ad una tensione nominale di 690V. È inoltre presente su ogni macchina il trasformatore MT/BT per innalzare la tensione di esercizio da 690V a 36.000V.

<b>SCS INGEGNERIA S.r.l.</b> Sede Legale: Via F.do Ayroldi, 10 72017 Ostuni (BR) P. IVA 02100810742		CODE <b>SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.002.00</b>
		PAGE 8 di/of 16

## 5. MODELLO DI VALUTAZIONE DELLA RISORSA EOLICA

In questo capitolo si affronta lo studio del modello per la valutazione della risorsa eolica e per l'analisi di producibilità riferito all'aerogeneratore di riferimento descritto al capitolo 4 AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO.

Il primo passo per la valutazione della risorsa è lo studio della velocità del vento all'altezza del mozzo dell'aerogeneratore. La velocità del vento è strettamente legata alla quota a cui essa è registrata, secondo la legge seguente:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha$$

Dove:

- $v_0$  è la velocità del vento misurata alla quota  $z_0$ ;
- $v$  è la velocità che vuole essere identificata alla quota  $z$  (ad esempio all'altezza del mozzo);
- $\alpha$  è un coefficiente che correla la differenza di quota alla differenza di velocità del vento.

Come visibile dalla formula, il calcolo della velocità del vento all'altezza del mozzo può essere determinata a partire da una misura di velocità ad una quota conosciuta e dall'individuazione del coefficiente  $\alpha$ .

Dall'analisi effettuata, per l'altezza al mozzo pari a 138 metri, si ottengono i seguenti valori di velocità media del vento all'altezza del mozzo:

Scaler/dati di vento	
Nome	EMD Default Meso Scaler
Scaling terreno	Meso-scale Data Downscaling
Terreno alla microscala	WAsP IBZ from Site Data
Periodo usato	01/01/1999 01:00:00 - 01/01/2023
Oggetto/i Meteo	EMD-WRF Europe+ (ERAS)_N41,76247_E015,11084 (1)
Altezza di dislocamento	Omnidirezionale, da Oggetti
Versione WAsP	WAsP 12 Version 12.08.0032

Dal profilo di velocità del vento è possibile ottenere una distribuzione di frequenza della velocità del vento per il calcolo della producibilità. La distribuzione di frequenza consente di identificare il numero di ore all'anno in cui si registra ciascun range di velocità del vento e calcolare quindi la relativa energia prodotta.

La distribuzione ideale che meglio descrive il comportamento della velocità del vento in un dato sito è la distribuzione probabilistica di Weibull, di cui è riportata la funzione di densità di probabilità sotto:

$$f(v) = \left(\frac{k}{A}\right) \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k}$$

Dove:

- $v$  è la velocità del vento;
  - $f(v)$  è la distribuzione di frequenza che indica la probabilità di avere una data velocità del vento;
- $k$  e  $A$  rappresentano rispettivamente il parametro di forma e il parametro di scala.  $k$  è un parametro adimensionale che indica la distribuzione utilizzata ed è minore di 2 quando si tratta di una distribuzione di tipo Weibull.  $A$  è un parametro con unità dimensionale di m/s, così come la velocità del vento: solitamente il parametro  $A$  è stimabile sapendo che la velocità media del vento è circa pari a  $0,9 \cdot A$ . I valori di  $k$  e  $A$  sono stimabili, in modo più preciso, attraverso una serie di modelli: modello grafico, modello MOM (methods of moments), modello empirico o modello energetico equivalente.

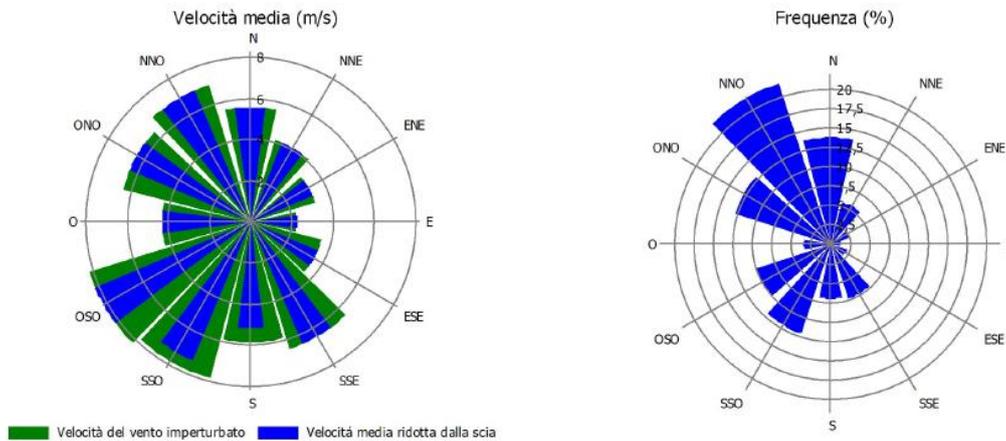
A seguire si riportano i principali risultati ottenuti dalle analisi condotte per singolo aerogeneratore:

**WTG01**

**Dati di vento per il sito**

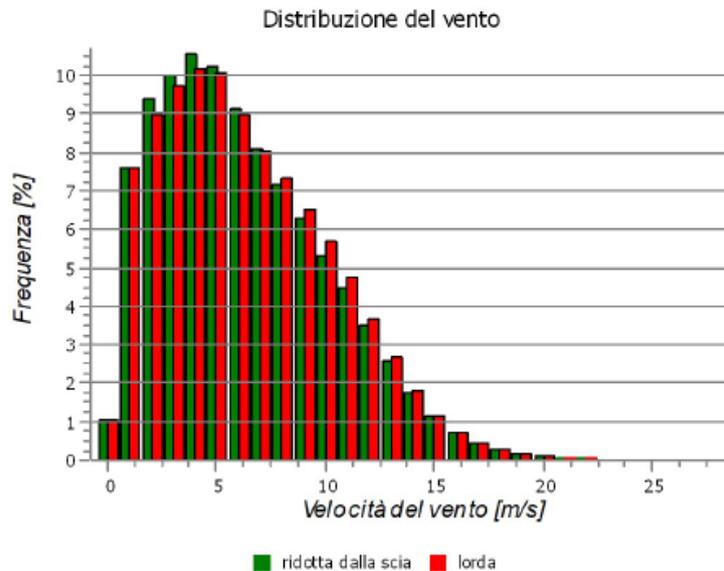
Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]
0 N		5,6	5,6 13,8
1 NNE	4,2	4,2	5,6
2 ENE	3,3	3,3	2,5
3 E	2,3	2,3	1,3
4 ESE	3,6	3,6	2,2
5 SSE	6,5	6,5	7,3
6 S	5,9	5,2	7,0
7 SSO	7,9	7,3	12,1
8 OSO	8,3	8,3	10,0
9 O	4,3	4,3	3,4
10 ONO	6,4	6,4	12,9
11 NNO	7,0	7,0	21,8
Tutti	6,4	6,3	100,0

**Figura 6: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 7: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**

Attraverso lo studio dei dati misurati in sito è possibile ottenere quale sia la distribuzione Weibull che meglio descrive l'andamento della velocità del vento. La distribuzione di Weibull è identificata in figura seguente:



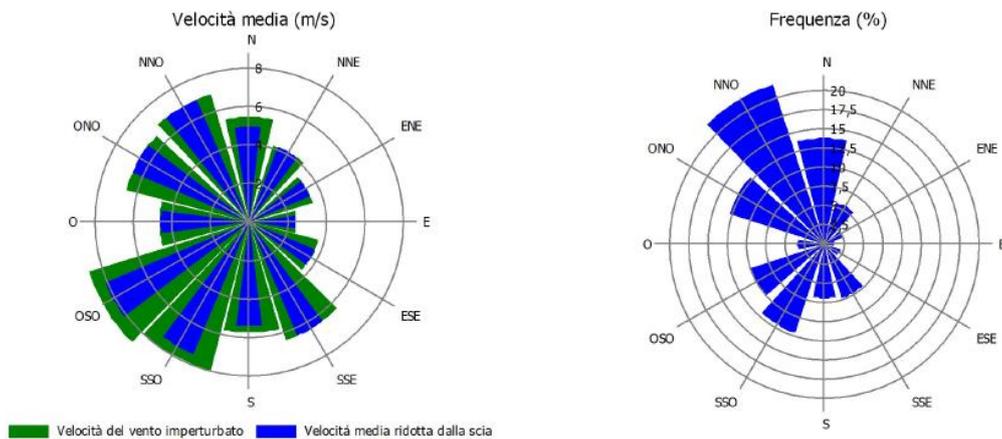
**Figura 8: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG02**

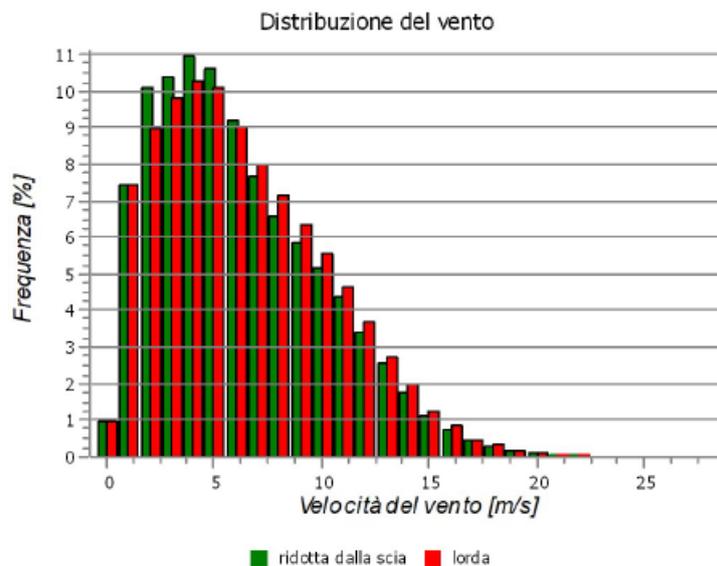
**Dati di vento per il sito**

Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]
0 N	5,5	5,0	13,8
1 NNE	4,2	4,2	5,6
2 ENE	3,4	3,4	2,5
3 E	2,4	2,4	1,3
4 ESE	3,7	3,7	2,2
5 SSE	6,4	6,4	7,3
6 S	5,8	5,4	7,0
7 SSO	8,0	7,4	12,1
8 OSO	8,7	8,1	10,0
9 O	4,6	4,6	3,4
10 ONO	6,6	6,6	12,9
11 NNO	6,9	6,9	21,8
Tutti	6,4	6,2	100,0

**Figura 9: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 10: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**



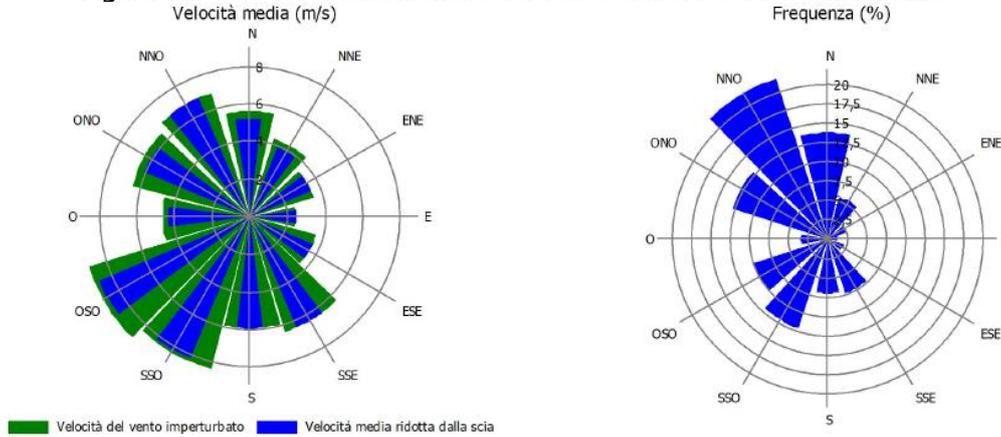
**Figura 11: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG03**

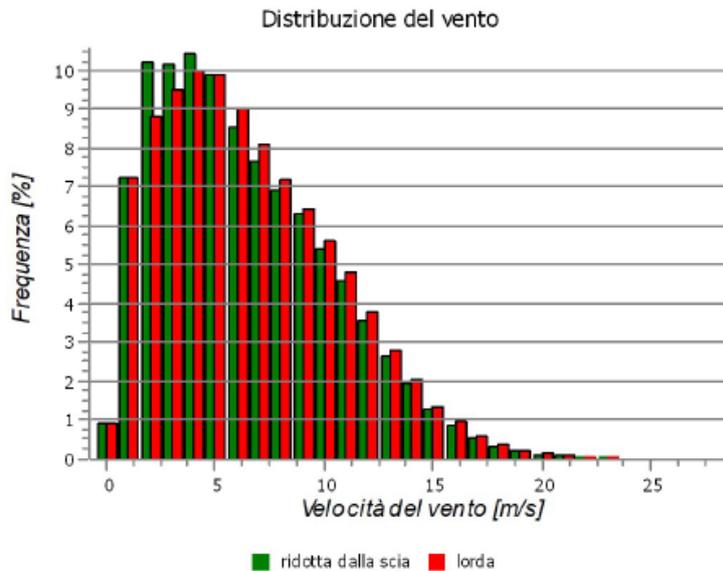
**Dati di vento per il sito**

Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]
0 N	5,7	5,3	13,8
1 NNE	4,4	4,0	5,6
2 ENE	3,6	3,6	2,5
3 E	2,5	2,5	1,3
4 ESE	3,7	3,7	2,2
5 SSE	6,4	6,4	7,3
6 S	6,0	6,0	7,0
7 SSO	8,4	8,2	12,1
8 OSO	9,0	8,8	10,0
9 O	4,7	4,4	3,4
10 ONO	6,5	6,2	12,9
11 NNO	6,9	6,9	21,8
Tutti	6,5	6,4	100,0

**Figura 12: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 13: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**



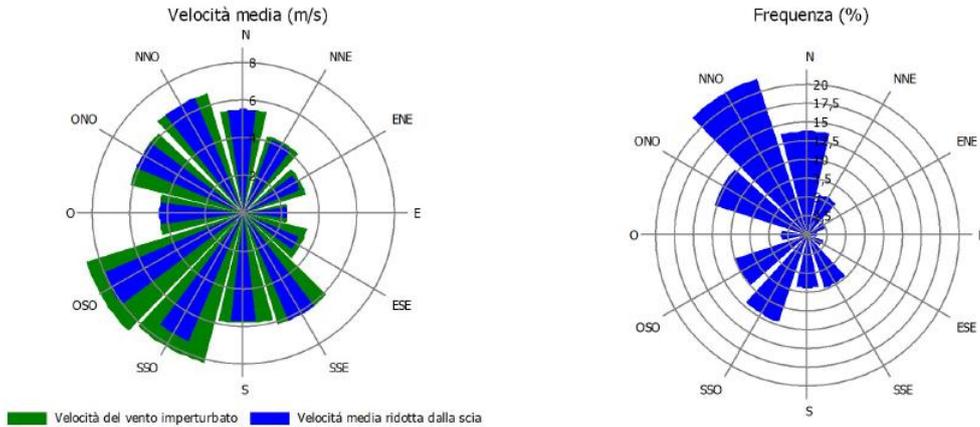
**Figura 14: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG04**

**Dati di vento per il sito**

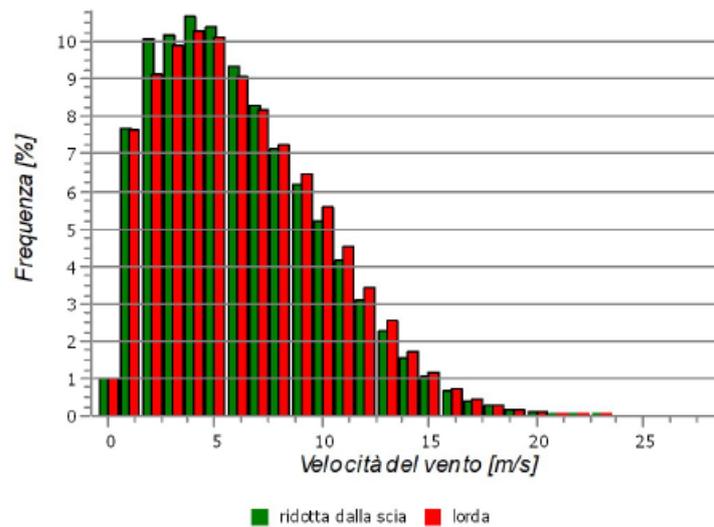
Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]
0 N		5,5	5,5
1 NNE	4,3	4,2	5,6
2 ENE	3,5	3,3	2,5
3 E	2,3	2,3	1,3
4 ESE	3,5	3,2	2,2
5 SSE	6,2	6,2	7,3
6 S	5,8	5,7	7,0
7 SSO	8,2	7,4	12,1
8 OSO	8,7	8,1	10,0
9 O	4,5	4,5	3,4
10 ONO	6,2	6,2	12,9
11 NNO	6,7	6,7	21,8
Tutti	6,3	6,1	100,0

**Figura 15: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 16: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**

Distribuzione del vento



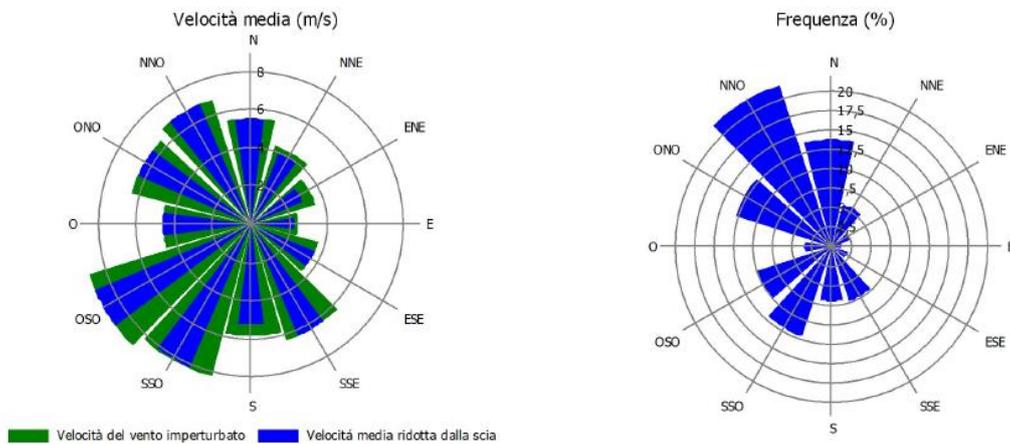
**Figura 17: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG05**

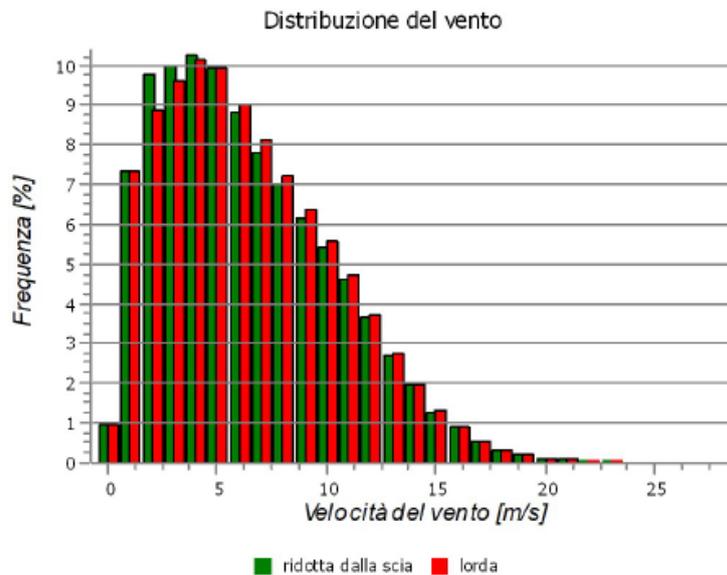
**Dati di vento per il sito**

Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]
0 N		5,6	5,6
1 NNE	4,3	4,0	5,6
2 ENE	3,6	3,0	2,5
3 E	2,5	2,3	1,3
4 ESE	3,7	3,7	2,2
5 SSE	6,4	6,4	7,3
6 S	5,9	5,3	7,0
7 SSO	8,3	8,2	12,1
8 OSO	8,9	8,9	10,0
9 O	4,7	4,7	3,4
10 ONO	6,5	6,5	12,9
11 NNO	6,9	6,9	21,8
Tutti		6,5	100,0

**Figura 18: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 19: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**



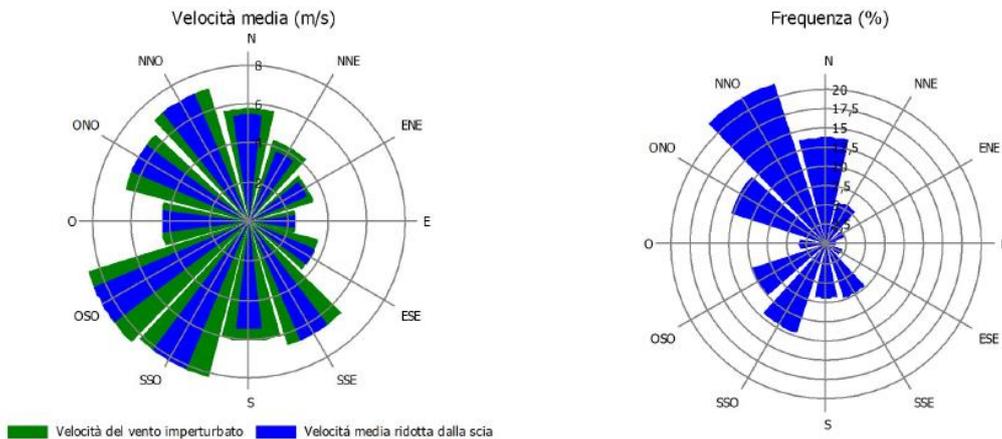
**Figura 20: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG06**

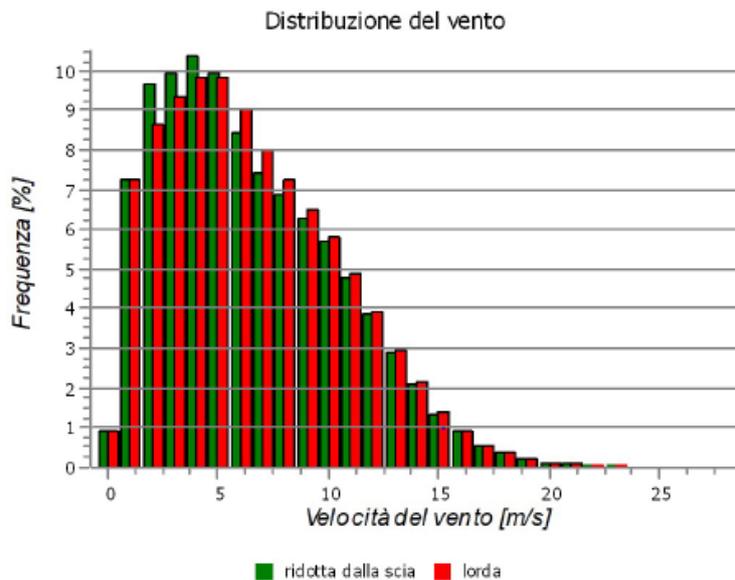
**Dati di vento per il sito**

Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]	
0 N	5,8	5,8	5,5	13,8
1 NNE	4,4	4,4	3,9	5,6
2 ENE	3,5	3,5	3,3	2,5
3 E	2,4	2,4	2,4	1,3
4 ESE	3,7	3,7	3,7	2,2
5 SSE	6,7	6,7	6,6	7,3
6 S	6,1	6,1	5,5	7,0
7 SSO	8,2	8,2	8,2	12,1
8 OSO	8,6	8,6	8,6	10,0
9 O	4,5	4,5	4,5	3,4
10 ONO	6,6	6,6	6,6	12,9
11 NNO	7,1	7,1	7,1	21,8
Tutti	6,6	6,6	6,5	100,0

**Figura 21: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 22: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**



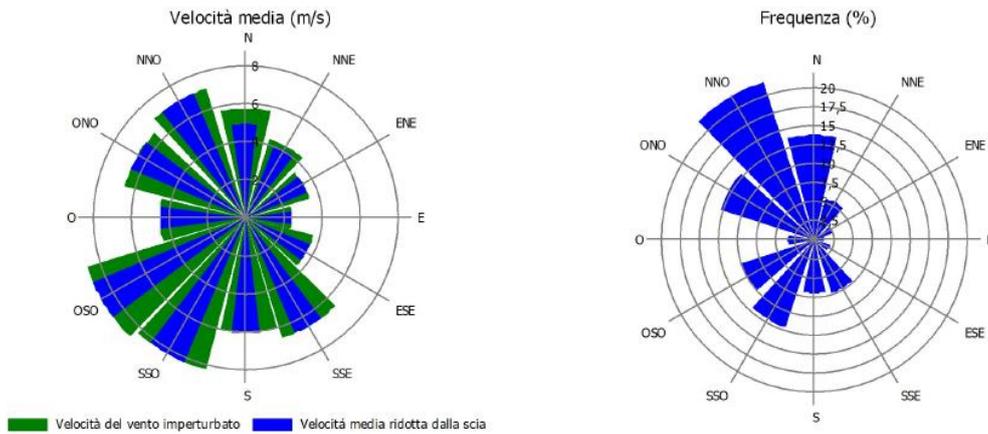
**Figura 23: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

**WTG07**

**Dati di vento per il sito**

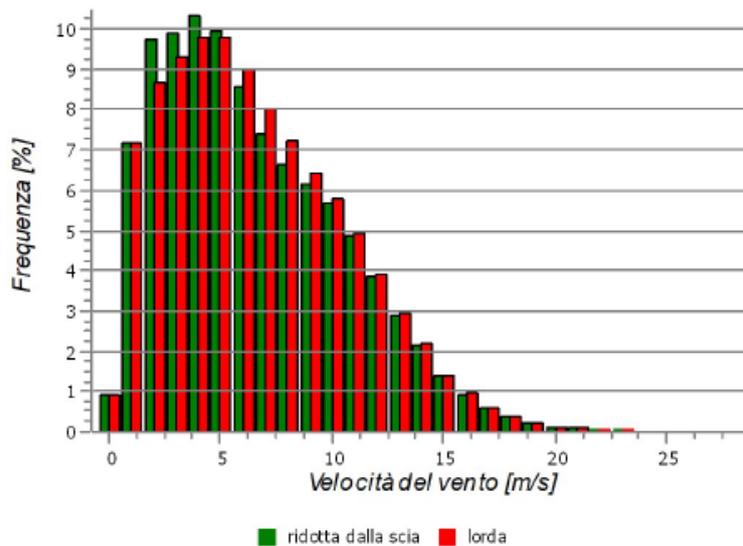
Settore	Velocità del vento imperturbato [m/s]	Velocità media ridotta dalla scia [m/s]	Frequenza [%]	
0 N		5,8	5,0	13,8
1 NNE		4,4	4,1	5,6
2 ENE		3,5	3,5	2,5
3 E		2,4	2,4	1,3
4 ESE		3,7	3,7	2,2
5 SSE		6,6	6,6	7,3
6 S		6,1	6,1	7,0
7 SSO		8,3	8,3	12,1
8 OSO		8,8	8,8	10,0
9 O		4,5	4,5	3,4
10 ONO		6,6	6,6	12,9
11 NNO		7,1	7,1	21,8
Tutti		6,6	6,5	100,0

**Figura 24: Velocità media mensile del vento elaborato ad altezza mozzo**



**Figura 25: Valutazione della velocità media del vento e della frequenza**

Distribuzione del vento



**Figura 26: Distribuzione delle frequenze di Weibull**

Si ottiene quindi una distribuzione probabilistica di velocità durante l'anno. È dunque possibile calcolare l'energia prodotta dall'aerogeneratore moltiplicando, per ogni classe di vento, la potenza prodotta dall'aerogeneratore in quella condizione di vento, ricavata dalla curva di potenza, ed il numero di ore all'anno in cui si verifica quella condizione di vento, ottenibili come il prodotto tra le ore totali in un anno (7005) e la probabilità che vi sia quella condizione di vento ( $f(v)$  da distribuzione Weibull).

Non è possibile, tuttavia, calcolare l'energia prodotta da tutto il parco eolico come l'energia prodotta da un aerogeneratore moltiplicata per il numero di aerogeneratori. Infatti, vi sono diverse interazioni tra gli aerogeneratori, che riducono il valore di energia prodotta totale dal campo: effetti di scia e effetti di "schiera", dovuti alla presenza di numerose turbine che condizionano il vento, anche fuori dall'area di scia.

La modellazione ed il calcolo della producibilità per l'intero parco eolico sono stati effettuati attraverso il software di progettazione e di ottimizzazione di impianti eolici "windPRO".

L'utilizzo di un modello di tipo "wake" (scia) è necessario poiché per impianti eolici composti da numerose turbine non è possibile ipotizzare che non vi sia correlazione tra i vari aerogeneratori e che la presenza di un aerogeneratore non possa influenzare il vento circostante e le prestazioni degli altri aerogeneratori. La presenza di numerose turbine eoliche in un'area limitata può alterare il profilo del vento anche al di fuori della zona di scia, riducendo così il valore totale di energia prodotta.

I valori misurati dalla Stazione Anemometrica, ed estrapolati verticalmente all'altezza del mozzo, 138 metri, vengono a loro volta estrapolati orizzontalmente fino alle posizioni delle WTG. Questa procedura ha consentito di determinare l'esatta velocità del vento all'altezza del mozzo, in corrispondenza dei punti di installazione delle singole WTG, e pertanto di valutare con un adeguato grado di accuratezza la produzione di energia prevista.

## 6. RISULTATI

La modellazione illustrata al capitolo precedente ha condotto ai seguenti risultati:

Caratteristica	Valore
<b>Potenza Installata</b>	42 MW
<b>Potenza nominale WTG</b>	6.0 MW
<b>N° di WTG</b>	7
<b>Diametro del rotore</b>	163 m
<b>Altezza del mozzo</b>	138 m
<b>Velocità del vento all'altezza di mozzo (free)</b>	6.3 m/s
<b>Energia prodotta annua</b>	<b>128.940 MWh</b>
<b>Ore equivalenti</b>	<b>3070</b>

**Tabella 3: Valori di produzione**

Nella tabella precedente è stato riportata la produzione media annua calcolata. Il risultato include le perdite dovute a scie e decurtazioni.

Si stima che l'impianto eolico potrà produrre mediamente 128,9 GWh all'anno, per un totale di 3070 ore equivalenti.