



GRE CODE
GRE.EEC.R.11.IT.W.14622.00.014.00

PAGE
1 di/of 18

TITLE:AVAILABLE LANGUAGE: IT

“IMPIANTO EOLICO ACQUAVIVA”

8PSY7B1_DocumentazioneSpecialistica01

VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA



00	16/12/2020	PRIMA EMISSIONE	V.D'AMICO	F.DE CASTRO	A. SERGI
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

-			
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY	

PROJECT / PLANT IMPIANTO EOLICO ACQUAVIVA	GRE.EEC.R.26.IT.W.14622.00.097.00																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION									
	GRE	EEC	R	1	1	I	T	W	1	4	6	2	2	0	0	0	1	4	0

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
-----------------------	--------------------------

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green PowerS.p.A.



GRE CODE

GRE.EEC.R.11.IT.W.14622.00.014.00

PAGE

2 di/of 18

INDEX

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO DEL SITO	4
3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA.....	6
4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO.....	9
5. MODELLO DI VALUTAZIONE DELLA RISORSA EOLICA	12
6. RISULTATI	18

1. **PREMESSA**

SCS Ingegneria Srl, in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. ("EGP") di redigere il progetto autorizzativo per un impianto eolico proposto nei Comuni di Acquaviva delle Fonti e Casamassima, in provincia di Bari, costituito da 15 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6 MW, per una potenza totale installata di 90 MW.

La società proponente è Enel Green Power Italia Srl, una controllata da Enel Green Power S.p.A. (EGP). EGP è la società del Gruppo Enel che dal 2008 si occupa dello sviluppo e della gestione delle attività di generazione di energia da fonti rinnovabili.

Enel Green Power è presente in 29 Paesi nel mondo: in 18 gestisce delle capacità produttive mentre in 11 è impegnata nello sviluppo e costruzione di nuovi impianti. La capacità gestita totale è di circa 46 GW, corrispondenti a più di 1.200 impianti.

In Italia, il parco di generazione di Enel Green Power è rappresentato da tutte le 5 tecnologie rinnovabili: idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermia e biomassa. Attualmente nel Paese conta una capacità gestita complessiva di oltre 14 GW.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori, attraverso il sistema di cavidotti interrati in media tensione, verrà convogliata in una Sottostazione di Elevazione proposta nell'area d'impianto, dove è in corso l'avvio dell'iter autorizzativo per la realizzazione di una futura Sottostazione Elettrica RTN.

Si pone l'accento sin da questa premessa, che la proposta progettuale considera l'installazione di turbine eoliche ad alta efficienza, che potrà costituire una fonte considerevole di produzione di dell'energia, riducendo fortemente l'impronta CO2 equivalente alla produzione della stessa da fonti convenzionali.

2. INQUADRAMENTO DEL SITO

Il sito, oggetto del presente elaborato, è ubicato a circa 20 km a sud di Bari, nel territorio dei Comuni di Acquaviva delle Fonti e Casamassima, in Provincia di Bari, Regione Puglia.

L'area interessata si sviluppa in un'area completamente pianeggiante, a circa 20 km dalla costa Adriatica.

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

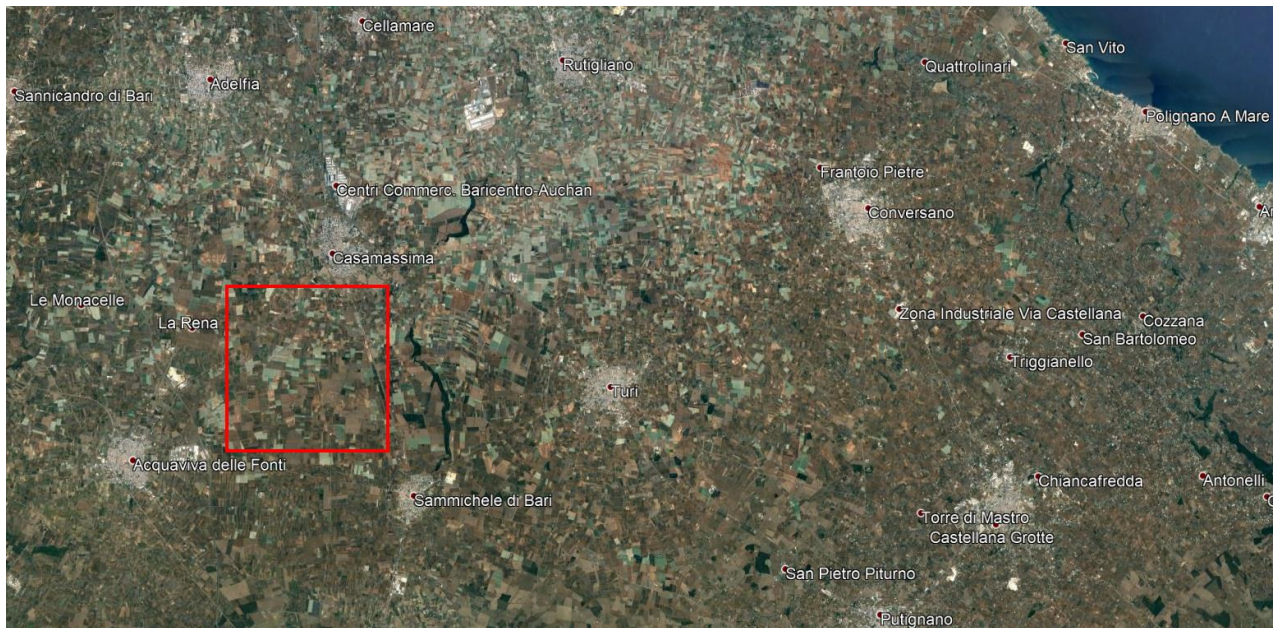


Figura 1: Individuazione su Ortofoto

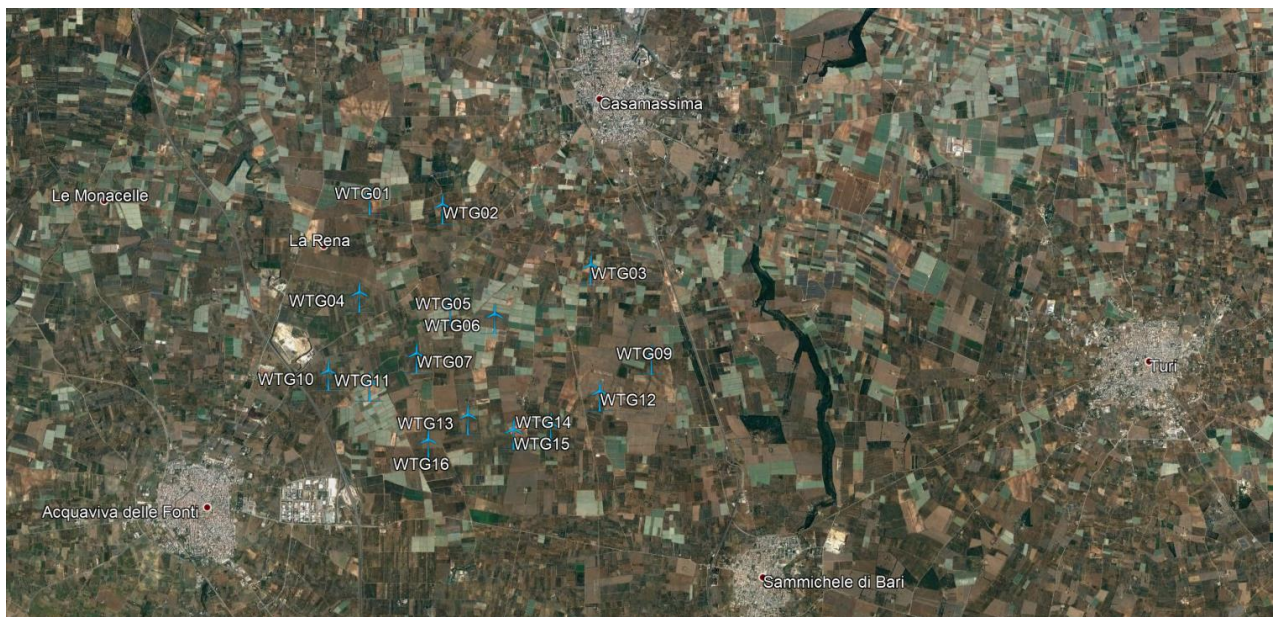


Figura 2: Layout d'impianto su Ortofoto

Di seguito si riporta l'individuazione, in forma tabellare, della localizzazione geografica e catastale degli aerogeneratori proposti.

Tabella 1: Elenco degli aerogeneratori

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLE
1	657871	4533859	ACQUAVIVA	13	107/108
2	659022	4533733	CASAMASSIMA	38	261
3	661379	4532835	CASAMASSIMA	51	181/198
4	657746	4532327	ACQUAVIVA	32	356/357/358
5	659180	4532155	CASAMASSIMA	48	68
6	659883	4532030	CASAMASSIMA	50	6
7	658669	4531389	ACQUAVIVA	38	126-303
9	662367	4531444	CASAMASSIMA	60	73
10	657289	4531091	ACQUAVIVA	37	94/95
11	657941	4530929	ACQUAVIVA	38	170
12	661569	4530860	CASAMASSIMA	58	37
13	659503	4530447	CASAMASSIMA	57	284/285/125
14	660806	4530338	CASAMASSIMA	57	364
15	660225	4530237	CASAMASSIMA	57	526
16	658889	4530048	ACQUAVIVA	43	56

3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Il sito in oggetto è caratterizzato da una buona ventosità. La valutazione della risorsa è avvenuta per mezzo di una torre anemometrica denominata "W3 396494 - Acquaviva delle Fonti" (Latitudine: 40.846270°; Longitudine: 16.844880°), posta circa 7,5 km a sud dell'area d'impianto, ad un'altitudine di 350 m slm, leggermente più alta rispetto a quella del sito.



Figura 3: Posizione della Torre anemometrica rispetto all'impianto

La stazione anemometrica misura la direzione del vento e la sua velocità, necessaria per il calcolo della stima di producibilità. La stazione misura inoltre la temperatura ambiente che determina la densità dell'aria, altra variabile nella stima di producibilità.

La velocità media mensile e la direzione del vento misurate dalla stazione anemometrica sono riportate nelle figure sottostanti:

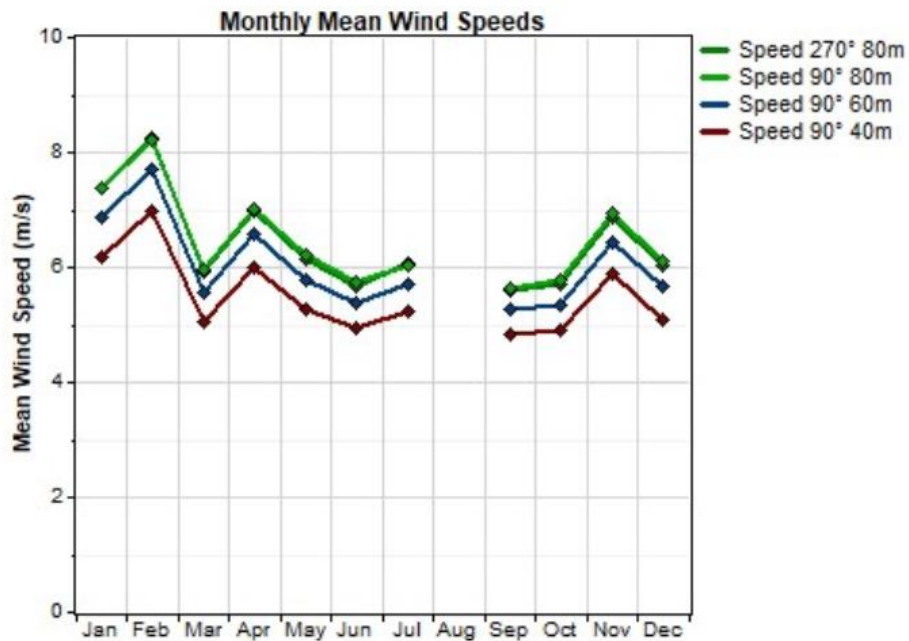


Figura 4: Stazione Anemometrica - Profilo medio mensile di velocità del vento a 40m, 60m e a 80 m d'altezza

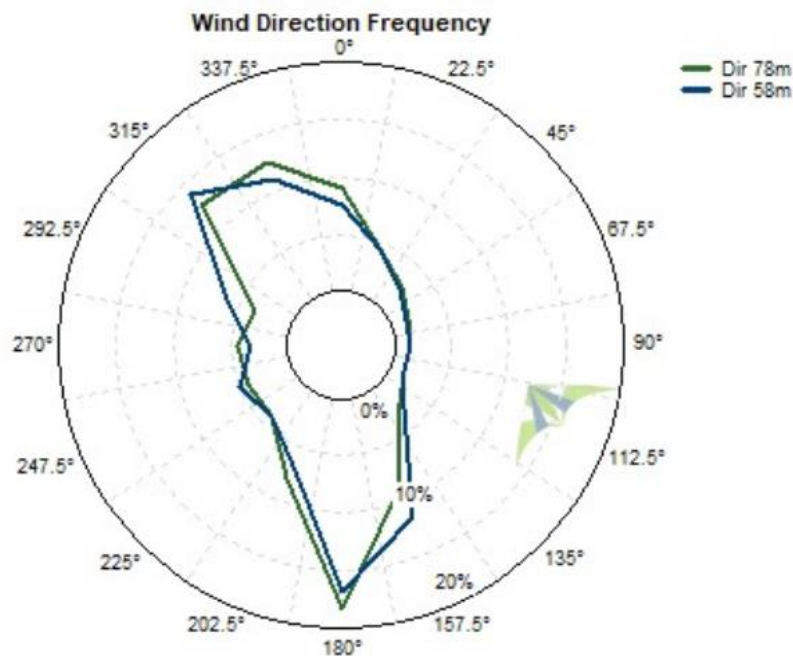


Figura 5: Stazione Anemometrica - Direzione prevalente del vento a a 40m, 60m e a 80 m

Come visibile dalla Figura 4, la velocità del vento è misurata ad altezze diverse della stazione anemometrica: a 40 metri, 60 metri e a 80 metri da terra. La multipla misura è necessaria al fine di individuare quale sia la variazione della velocità del vento in funzione dell'altezza, per poi modellare la velocità del vento all'altezza del mozzo dell'aerogeneratore, come spiegato con maggiore dettaglio nel capitolo dedicato alla valutazione della risorsa eolica.

La direzione del vento è prevalente in direzione ovest nordo-vest. Questo fattore è stato fondamentale nella costruzione della proposta d'impianto, al fine di individuare il posizionamento degli aerogeneratori ed evitare effetti di scia tra essi, con l'obiettivo di massimizzare la produzione di energia.

Si evidenzia anche in figura seguente il profilo diurno medio della velocità del vento:

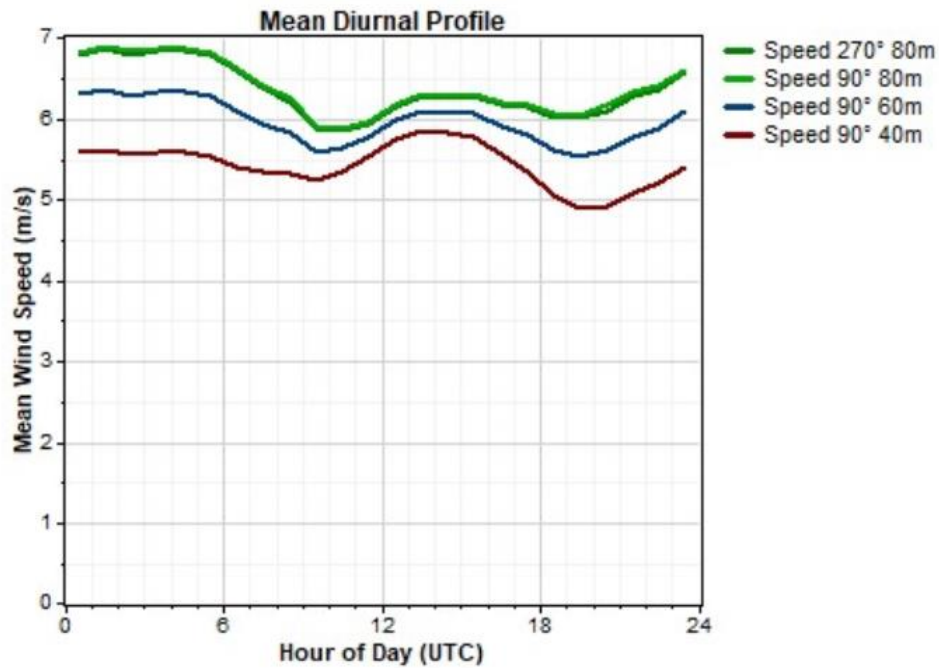


Figura 6: Stazione Anemometrica – Profilo medio diurno del vento

Considerando l'orografia del sito, si può affermare che esso è caratterizzato da buoni valori di velocità del vento che garantiscono una ottima producibilità.

4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO

Gli aerogeneratori proposti nel progetto in oggetto, sono stati selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato e sono del tipo Siemens Gamesa SG 6.0 – 170.

La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a 6,0 MW. Per quanto venga indicato un tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore, potranno essere comunque individuati in seguito, anche sulla base della repentina evoluzione tecnologica del settore, soluzioni con caratteristiche geometriche equivalenti, ma con performance ed efficienza più elevate.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di riferimento:

POTENZA NOMINALE	6,0 MW
DIAMETRO DEL ROTORE	170 m
LUNGHEZZA DELL'ELICA	83 m
CORDA MASSIMA DELL'ELICA	4,5 m
AREA SPAZZATA	22.298 m ²
ALTEZZA MOZZO	115 m
CLASSE DI VENTO IEC	IIIA
VELOCITÀ DI ATTIVAZIONE	3 m/s
VELOCITÀ NOMINALE	10 m/s
VELOCITÀ DI ARRESTO	25 m/s

Tabella 2: Caratteristiche dell'aerogeneratore

Nell'immagine seguente vengono mostrate graficamente le caratteristiche geometriche della turbina di riferimento.

Elevation Drawing

SG 6.0-170 115m

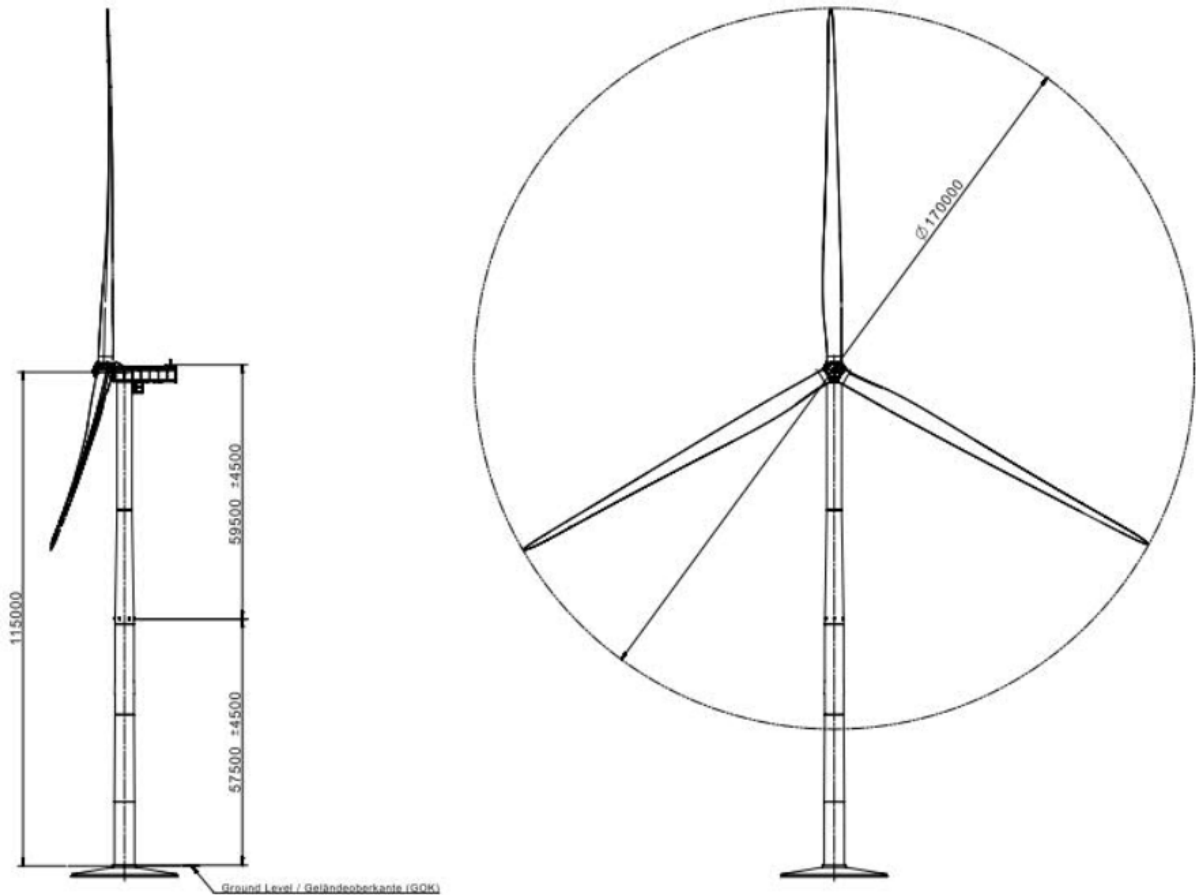


Figura 7: Vista e caratteristiche dell'aerogeneratore di riferimento

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 690 V. È inoltre presente su ogni macchina il trasformatore MT/BT per innalzare la tensione di esercizio da 690 V a 33.000 V.

È riportata di seguito anche la curva di potenza dell'aerogeneratore in funzione della velocità del vento registrata al mozzo della WTG, valida per una densità dell'aria pari a 1,225 kg/m³.

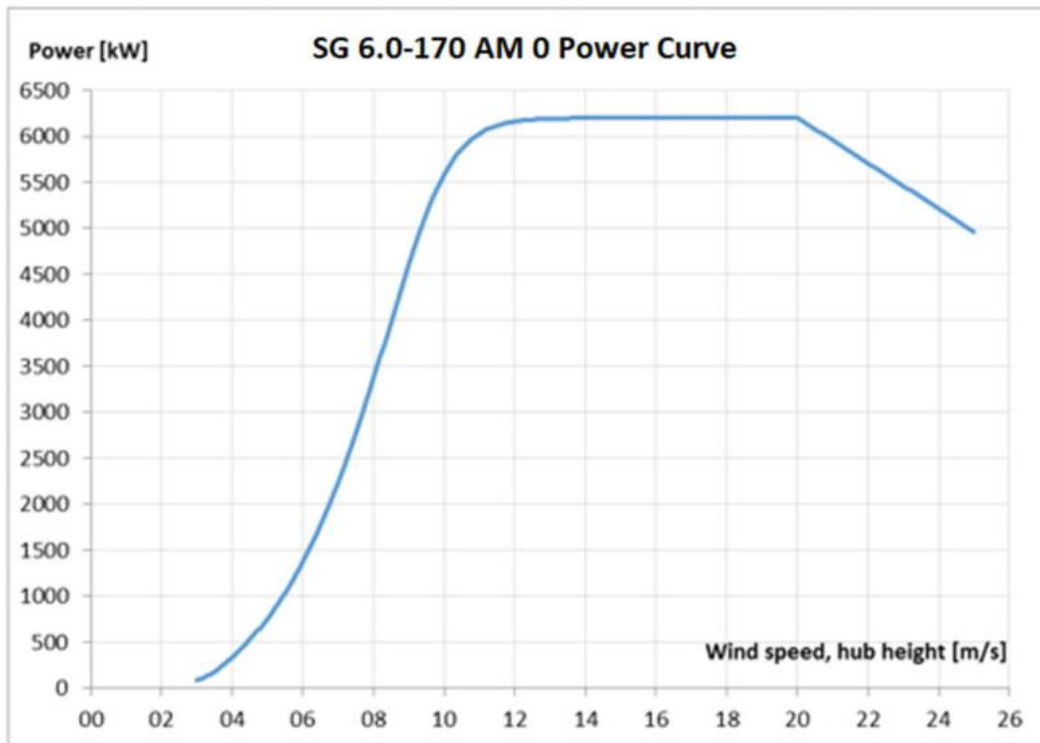


Figura 8: Curva di potenza della SG 6.0 - 170

Come si evince dal grafico riportato in figura, la velocità di attivazione della turbina ($V_{\text{cut-in}}$) è molto bassa, pari a 3 m/s, mentre la velocità a cui corrisponde il funzionamento nominale della WTG (V_{rated}) è pari a 10 m/s. La macchina invece si arresta automaticamente quando la velocità del vento supera i 25 m/s ($V_{\text{cut-out}}$).

Nella valutazione, la curva di potenza è stata opportunamente tarata sulla base della densità media dell'aria registrata in sito, pari a 1,176 kg/m³.

5. MODELLO DI VALUTAZIONE DELLA RISORSA EOLICA

Assumendo l'aerogeneratore di riferimento descritto al capitolo precedente e i dati di ventosità del sito, in questo paragrafo si descrive la modellazione effettuata per la valutazione della risorsa eolica e l'analisi di producibilità.

Il vento di riferimento misurato dalla stazione anemometrica, viene riportato all'altezza del mozzo. La velocità del vento è correlata alla quota a cui essa è registrata e segue la seguente legge:

$$V/V_0 = (Z/Z_0)^\alpha$$

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);
- α 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 α .

Le misure del vento alle quote di riferimento sono quelle riportate al capitolo 3, registrate presso la stazione anemometrica "W3 396494 - Acquaviva delle Fonti". Come già evidenziato, la stazione misura la velocità del vento a quote differenti. Questo permette di poter identificare il coefficiente α tra queste due quote e applicarlo poi per l'identificazione della velocità del vento all'altezza del mozzo dell'aerogeneratore.

Dall'analisi effettuata per diverse altezze sono ottenuti i seguenti grafici di velocità e direzione del vento e profilo diurno all'altezza del mozzo:

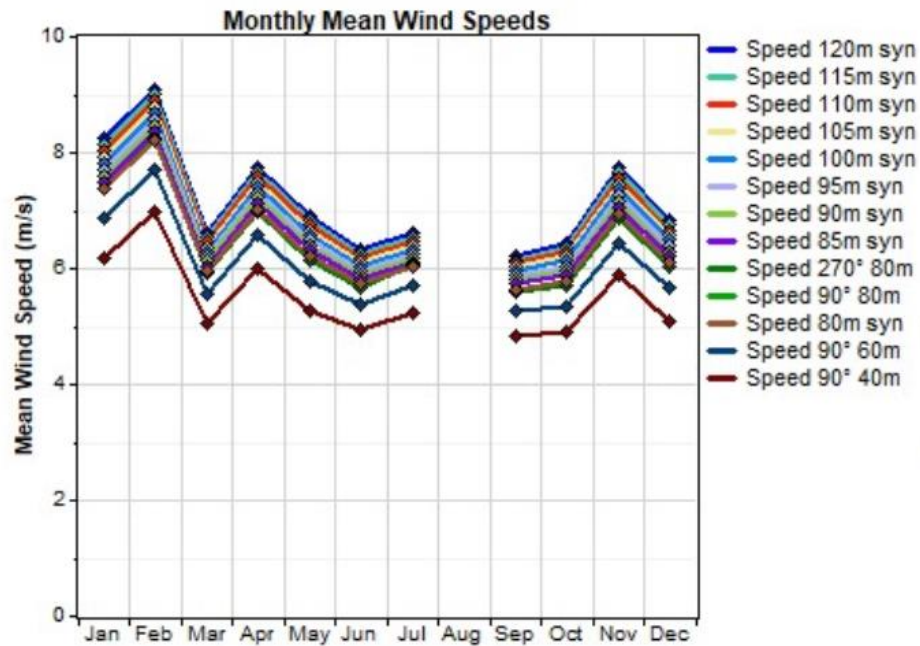


Figura 9: Profilo medio mensile di velocità del vento elaborato ad altezza mozzo

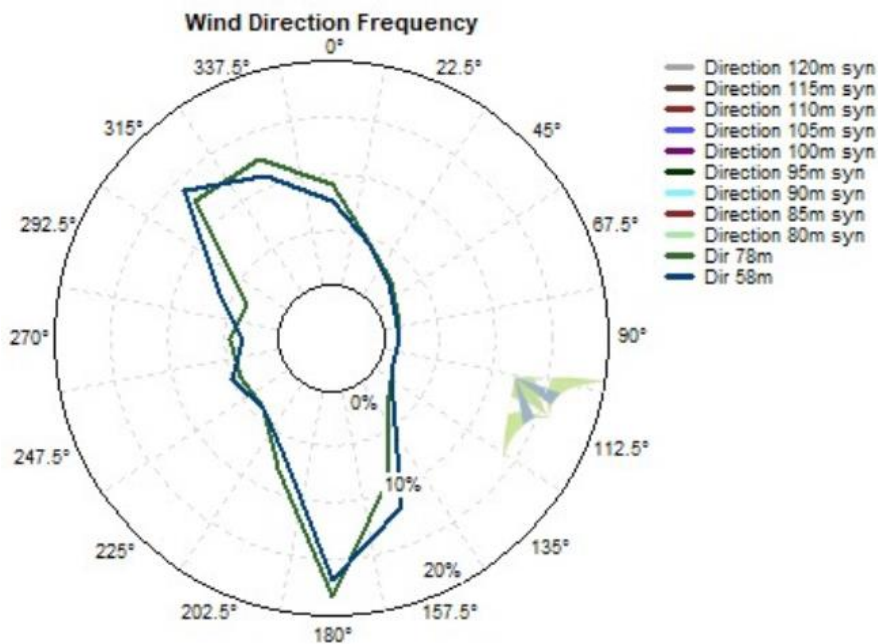


Figura 10: Direzione prevalente del vento elaborato ad altezza mozzo

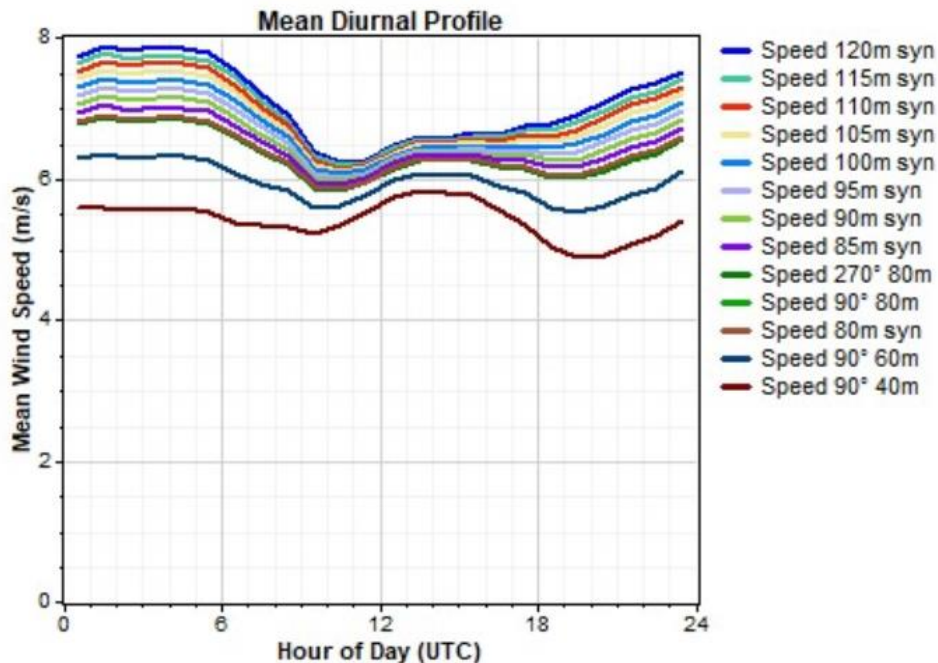


Figura 11: Profilo medio diurno del vento elaborato ad altezza mozzo

Come visibile dalle figure riportate sopra, la velocità del vento varia sostanzialmente alle basse altitudini.

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.

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:

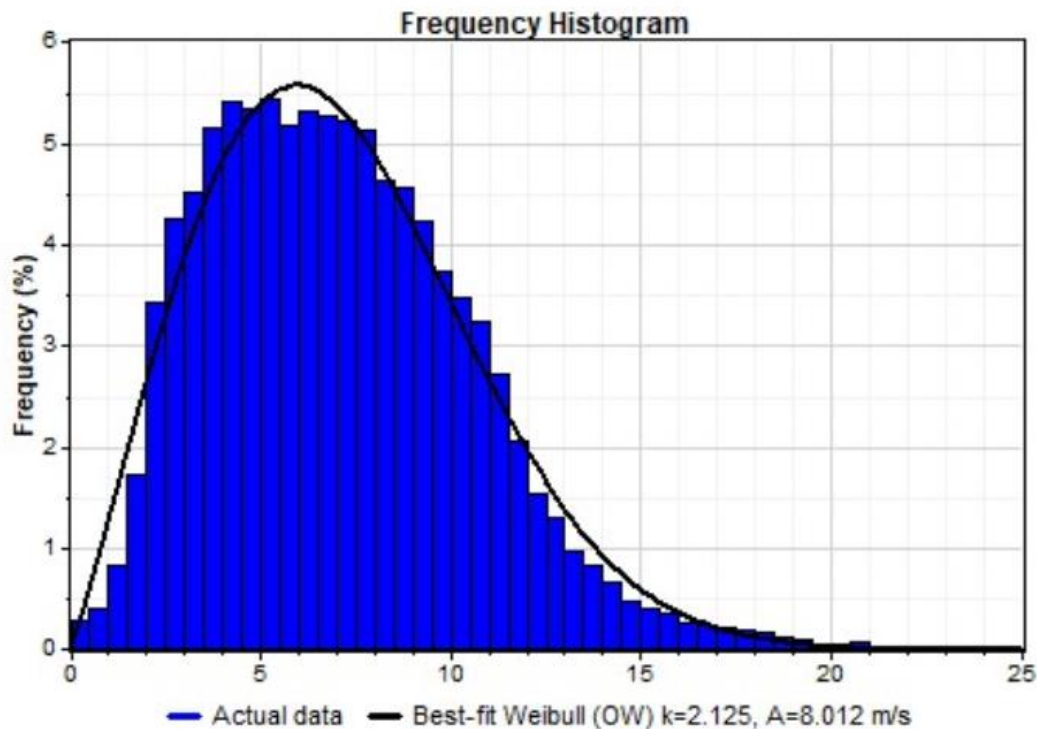


Figura 12: Distribuzione delle frequenze di Weibull

Ottenuta la distribuzione probabilistica di velocità durante l'anno, si può procedere al calcolo dell'energia prodotta dall'aerogeneratore moltiplicando, per ogni step di incremento di vento, la potenza prodotta dalla WTG in quella condizione di vento, ricavabile dalla curva di potenza. Grazie alla distribuzione probabilistica, il dato relativo al numero di ore in cui il vento spira ad una data velocità è disponibile. In particolare, per il sito di un oggetto, le ore totali operative dell'impianto in un anno sono 7817, e la probabilità che vi sia quella condizione di vento è rappresentata nella tabella seguente.

Wind speed bin	Sector Mid Point												Total Speed Frequency
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	
0	0,15	0,16	0,13	0,18	0,07	0,06	0,10	0,06	0,10	0,16	0,15	0,14	1,47%
1	0,25	0,21	0,16	0,20	0,18	0,21	0,27	0,24	0,27	0,40	0,41	0,33	3,12%
2	0,65	0,53	0,40	0,24	0,36	0,41	0,37	0,31	0,41	0,65	1,03	0,80	6,16%
3	1,20	1,02	0,53	0,26	0,39	0,44	0,47	0,43	0,43	0,81	1,44	1,21	8,60%
4	1,63	1,44	0,59	0,21	0,28	0,52	0,66	0,58	0,57	0,89	1,56	1,42	10,32%
5	1,79	1,53	0,49	0,15	0,19	0,63	0,91	0,63	0,71	1,00	1,60	1,43	11,07%
6	1,69	0,96	0,27	0,09	0,15	0,77	1,19	0,66	0,77	1,17	1,75	1,44	10,92%
7	1,26	0,36	0,13	0,06	0,13	0,79	1,50	0,63	0,79	1,31	1,89	1,33	10,17%
8	0,85	0,13	0,06	0,03	0,09	0,80	1,72	0,78	0,77	1,57	1,97	1,14	9,90%
9	0,57	0,07	0,04	0,02	0,06	0,76	1,75	0,79	0,66	1,44	1,72	0,92	8,79%
10	0,40	0,04	0,01	0,01	0,06	0,67	1,67	0,68	0,56	0,89	1,30	0,68	6,96%
11	0,25	0,02	0,01	0,01	0,04	0,52	1,30	0,54	0,38	0,41	0,70	0,45	4,62%
12	0,19	0,01	0,01	0,00	0,02	0,40	0,89	0,31	0,25	0,13	0,28	0,29	2,77%
13	0,13	0,01	0,01	0,00	0,01	0,30	0,56	0,12	0,16	0,06	0,14	0,21	1,71%
14	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,25	0,29	0,06	0,08	0,03	0,08	0,13	1,02%
15	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,21	0,17	0,02	0,05	0,01	0,05	0,08	0,68%
16	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,18	0,13	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,50%
17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,10	0,01	0,01	0,00	0,01	0,03	0,39%
18	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,30%
19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,19%
20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14%
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08%
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04%
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03%
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02%
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01%
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01%
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01%
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
Total Sector Frequency	11,33	6,50	2,83	1,45	2,05	8,64	14,26	6,87	6,99	10,93	16,08	12,07	100%
Operative Hours (v>=3m/s)	901	490	187	73	126	697	1184	548	543	852	1269	946	7817

Tabella 3: Distribuzione delle frequenze e delle velocità

L'energia specifica del flusso d'aria e la sua direzione sono riportate nella figura seguente:

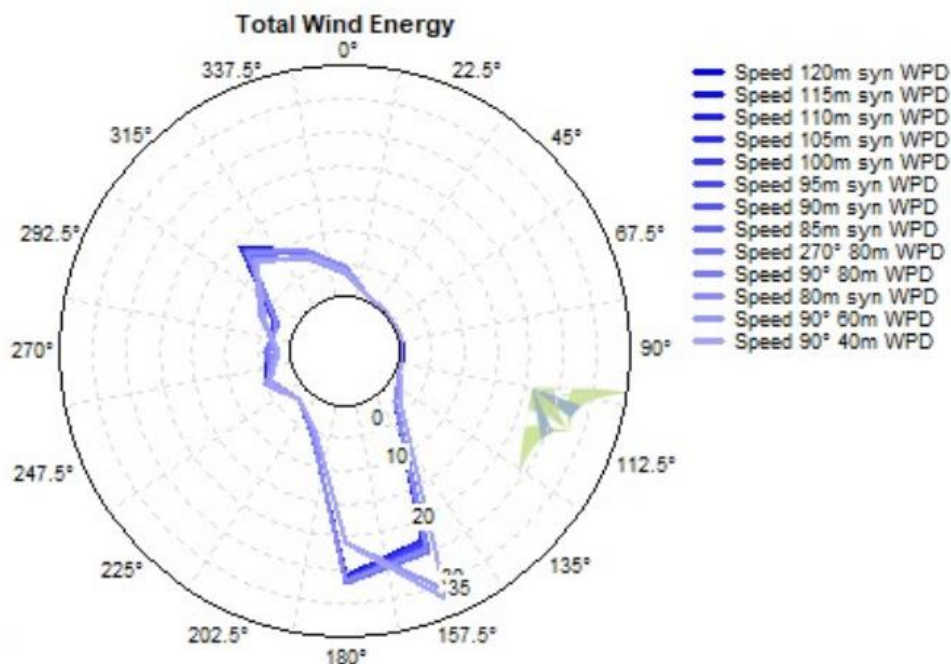


Figura 13: Energia totale del vento

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, ma vanno considerate le interazioni fra le varie posizioni, quindi il comportamento globale dell'impianto. Vanno anche considerati dei fattori di perdita, dovuti a vari aspetti. Tra gli effetti "negativi", che riducono il valore di energia prodotta, sono da considerare gli effetti di scia e gli effetti di "schiera", dovuti alla presenza di numerose turbine che condizionano il vento anche fuori dall'area di scia.

La modellazione e il calcolo della producibilità per l'intero parco eolico sono stati effettuati attraverso il software di progettazione e di ottimizzazione di impianti eolici "Openwind", tramite l'impiego del modello "Deep Array Eddy Viscosity Model".

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.

6. RISULTATI

Sulla base delle elaborazioni e delle modellazioni illustrate nei capitoli precedenti, si è condotto uno studio preliminare di producibilità, che ha restituito i risultati descritti nella tabella seguente.

Caratteristica	Valore
Potenza Installata	90 MW
Modello WTG	Siemens Gamesa SG170 6.0 MW (IIIa)
Potenza nominale WTG	6.0 MW
N° di WTG	15
Classe IEC	IIIa
Diametro del rotore	170 m
Altezza del mozzo	115 m
Velocità del vento all'altezza di mozzo (free)	6,7 m/s
Energia prodotta annua P50	247.076 MWh
Ore equivalenti	2745

Tabella 4: Valori di produzione

La tabella rappresenta il valore della producibilità P50, che rappresenta il valore a cui corrisponde il 50% di probabilità di ottenere, nella realtà, un valore maggiore o uguale a quello riportato. Al percentile riportato, si stima che l'impianto eolico potrà produrre 247,1 GWh all'anno, per un totale di 2745 ore equivalenti. Questo conferma, come già detto nei paragrafi precedenti, che il sito è caratterizzato da buoni valori di ventosità che garantiscono un'ottima producibilità.