

**Comuni di : SAN GIORGIO LA MOLARA, MOLINARA,  
SAN MARCO DEI CAVOTI, BASELICE E FOIANO DI VAL FORTORE**

Provincia di : BENEVENTO

Regione : CAMPANIA

PROPONENTE

**IVPC**



IVPC S.r.l.

Sede legale : 80121 Napoli (NA) - Vico Santa Maria a Cappella Vecchia 11

Sede Operativa : 83100 Avellino - Via Circumvallazione 108

Indirizzo email [ivpc@pec.ivpc.com](mailto:ivpc@pec.ivpc.com)

**I.V.P.C. S.r.l.**  
Vico Santa Maria a Cappella Vecchia, 11  
80121 Napoli

P.IVA: 01895480646



OPERA

**PROGETTO PER IL RIFACIMENTO E POTENZIAMENTO  
DI UN PARCO EOLICO**

OGGETTO

TITOLO ELABORATO :

**ANALISI ANEMOLOGICA E STIMA DELLA PRODUCIBILITA'**

DATA : Agosto 2023

N°/CODICE ELABORATO :

**R 02.2 Rev.01**

SCALA :


Folder :

Tipologia : Relazione

Lingua : ITALIANO

I TECNICI

01	Luglio 2023		IVPC Eolica	IVPC Eolica	IVPC
00	Dicembre 2021		IVPC Eolica	IVPC Eolica	IVPC
N° REVISIONE	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE



# Analisi anemometrica ed energetica per il potenziamento e rifacimento di un Parco Eolico

*Comuni di San Marco – Molinara – San Giorgio La Molara – Baselice – Foiano (BN)*



## Sommario

1. Introduzione e obiettivi .....	2
2. Descrizione delle apparecchiature ed analisi statistica dei dati .....	2
2.1. Identificazione delle stazioni .....	3
2.2. Stazione anemometrica SG06.....	4
2.2.1. Calcolo del wind shear locale.....	7
2.3. Stazione anemometrica SGR01 .....	8
2.3.1. Calcolo del wind shear locale.....	12
2.4. Stazione anemometrica MO01.....	12
2.3.1. Calcolo del wind shear locale.....	16
2.4. Stazione anemometrica BA02 .....	16
2.4.1. Calcolo del wind shear locale.....	20
2.5. Stazione anemometrica SM01.....	20
2.5.1. Calcolo del wind shear locale.....	24
2.6. Stazione anemometrica SMR01 .....	24
2.6.1. Calcolo del wind shear locale.....	28
2.7. Densità media dell'aria.....	29
3. Analisi della producibilità .....	29
3.1. Layout d'impianto .....	29
3.2. Turbina e curva di potenza .....	30
3.3. Modello orografico digitale.....	33
3.4. Mappa di ventosità .....	35
3.5. Risultati dell'analisi anemologica .....	40
3.6. Incertezza GE158 .....	40
3.7. Producibilità netta di impianto.....	42
4. Bibliografia .....	45

## 1. Introduzione e obiettivi

La Società I.V.P.C. S.r.l. intende realizzare il rifacimento e potenziamento di un Parco Eolico nei Comuni di San Marco Dei Cavoti – Molinara – San Giorgio La Molara – Baselice e Foiano di Valfortore (BN). L’iniziativa da realizzarsi prevede l’installazione di diciassette aerogeneratori. La presente analisi anemologica e di producibilità si pone come obiettivo la quantificazione delle potenzialità eoliche del sito e la stima di producibilità delle turbine previste per l’installazione sull’area di progetto. Lo studio prevede inizialmente l’elaborazione dei dati acquisiti da stazioni di misura della velocità e direzione vento posizionate in prossimità del sito, preceduta da eventuali operazioni di filtraggio per l’esclusione di valori non ammissibili.

Successivamente, l’insieme di dati di vento selezionato come maggiormente rappresentativo viene associato ad un modello digitale del territorio, opportunamente esteso intorno all’area d’interesse, per costituire l’input del codice di simulazione anemologica WASP(1). Il modello territoriale, o DTM, fornisce al software tutte le informazioni legate all’andamento altimetrico del terreno, alla distribuzione di rugosità superficiale ed, eventualmente, alla presenza di ostacoli naturali o infrastrutturali che possono esercitare un sensibile effetto indotto sul regime anemologico locale. Attraverso l’applicazione di un particolare algoritmo di estrapolazione dei dati sperimentali raccolti sulla singola posizione di una o più stazioni anemometriche, WASP è in grado di calcolare la distribuzione, e quindi la mappatura, a varie altezze rispetto al suolo, dei principali parametri anemologici caratterizzanti l’area circostante il punto di misura. I valori di tali parametri, calcolati su ciascuna delle posizioni previste per l’installazione delle turbine, ed associati alle curve di prestazioni del modello di aerogeneratore selezionato, permettono di operare una stima del valore di produzione di energia media annua attesa dall’impianto, al netto delle perdite per scia aerodinamica indotte dagli effetti d’interferenza reciproca tra le turbine.

<b>Tipologie turbina</b>	<b>GE-158</b>
<b>Numero Aerogeneratori</b>	17
<b>Potenza nominale aerogeneratore</b>	6.1 MW
<b>Potenza nominale parco</b>	103.7 MW
<b>Altezza mozzo</b>	101 m
<b>Producibilità netta stimata</b>	326492 MWh/anno
<b>Produzione specifica</b>	3148 MWh/MW (ore equivalenti)
<b>Efficienza del parco</b>	97.38%

*Caratteristiche principali del progetto eolico analizzato.*

## 2. Descrizione delle apparecchiature ed analisi statistica dei dati

Il sito del Progetto oggetto della presente relazione è stato monitorato da sei stazioni anemometriche, di cui due installate nei comuni di San Giorgio La Molara (BN), una installata nel comune di Molinara (BN), una installata nel comune di Baselice (BN) e due nel comune di San Marco Dei Cavoti (BN) (stazioni denominate SG06, SGR01, MO01, BA02, SM01, SMR01).

Ogni stazione è stata equipaggiata con sensori di velocità del tipo NRG #40C e da sensori di

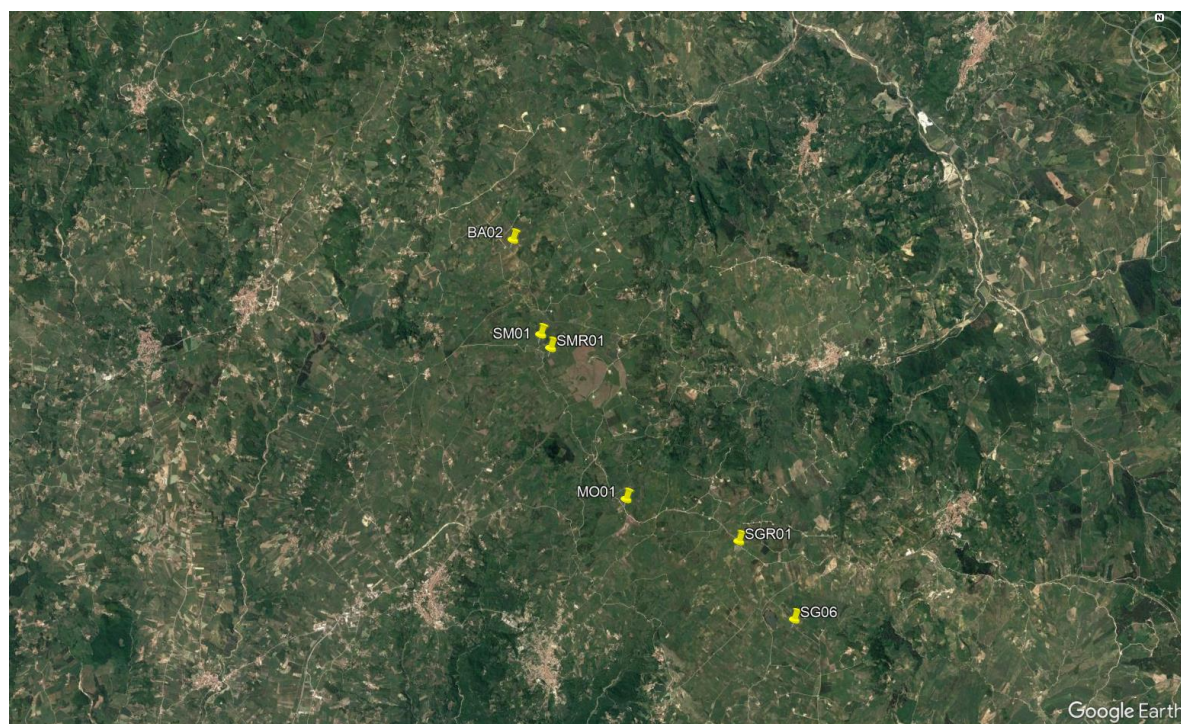
direzione del tipo NRG #200M/#200P Wind Direction Vane, 10K. Come prescritto dalla normativa IEC 61400 i sensori di rilevazione sono stati montati avendo cura di ridurre al minimo i disturbi di flusso di vento nei pressi degli stessi. A tal fine, sia i sensori di velocità che di direzione sono stati montati su aste di lunghezza pari a circa 25 volte il diametro del supporto di sostegno (la norma dice di avere almeno 20 volte il diametro), infine il sensore di direzione si trova ad un'altezza inferiore di 1,5 metri rispetto al sensore di velocità corrispondente.

### 2.1. Identificazione delle stazioni

In Tabella sono riportate le caratteristiche principali della stazione anemometrica utilizzata.

Codice torre	Fuso	UTM WGS84 X	UTM WGS84 Y	Quota (m)	Altezza met mast (m)
<b>SG06</b>	33T	497375	4572409	866	30
<b>SGR01</b>	33T	496230	4574019	903	100
<b>MO01</b>	33T	493909	4574891	935	30
<b>BA02</b>	33T	491590	4580203	921	30
<b>SM01</b>	33T	492162	4578259	987	30
<b>SMR01</b>	33T	492365	4577983	991	100

*Riassuntivo stazioni anemometriche*



*Immagine satellitare delle ubicazioni delle stazioni anemometriche analizzate*

I dati provenienti da ciascun sensore di rilevazione sono stati esaminati per evidenziare eventuali anomalie o intervalli temporali di mancata acquisizione.

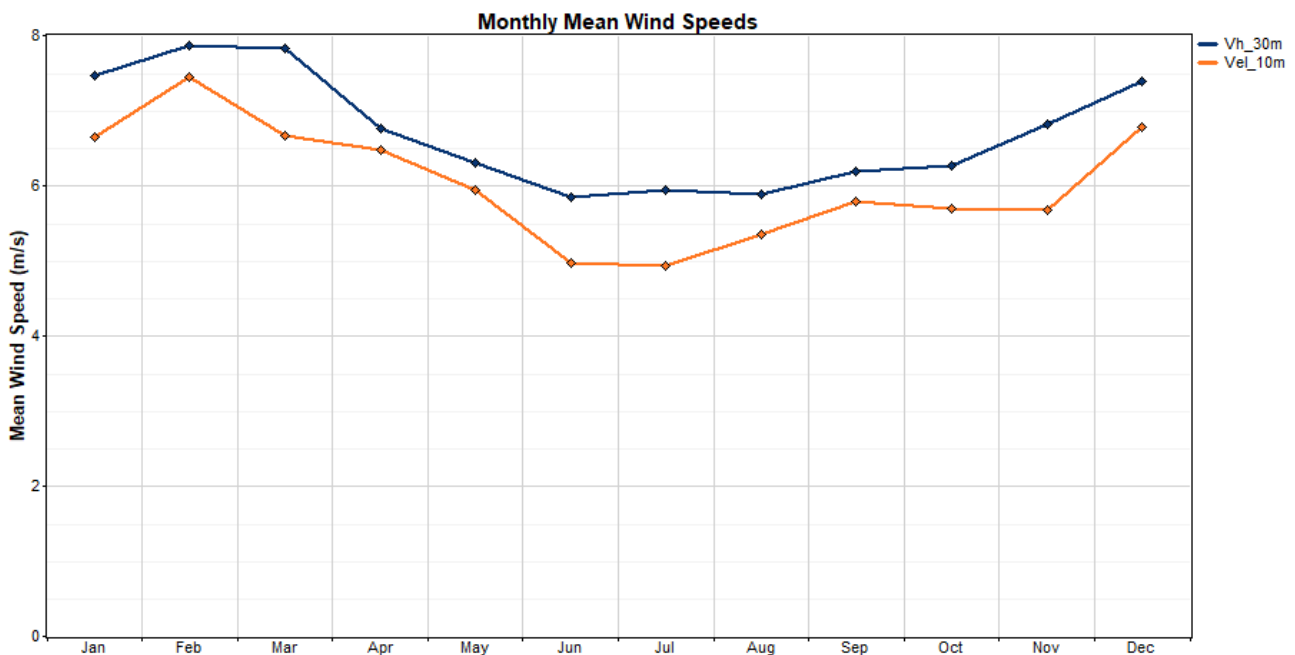
Sono state calcolate le relative distribuzioni statistiche di Weibull, ovvero le curve teoriche interpolanti gli istogrammi di distribuzione delle frequenze di occorrenza sperimentali, discretizzate per intervalli di velocità vento pari a 1 m/s. Tali andamenti sono univocamente determinati attraverso il calcolo dei due parametri di Weibull, A e k.

## 2.2. Stazione anemometrica SG06

Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica SG06 è costituito da 2 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 30 metri e 10 metri sls e da 1 sensore di direzione del tipo NRG #200P Wind Direction Vane, 10K posto all'altezza di 28, inoltre è presente un sensore di temperatura interno alla centralina del Logger. La stazione anemometrica è stata installata il 25 Gennaio 1997 e ancora attiva. I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa 25 anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Nomad 2 della Second Wind con frequenza di acquisizione 10 minuti.

A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato pari al 93.5% per l'anemometro a 30 metri, al 7.1% per l'anemometro a 10 metri e al 90.2% per la direzione a 28 metri.

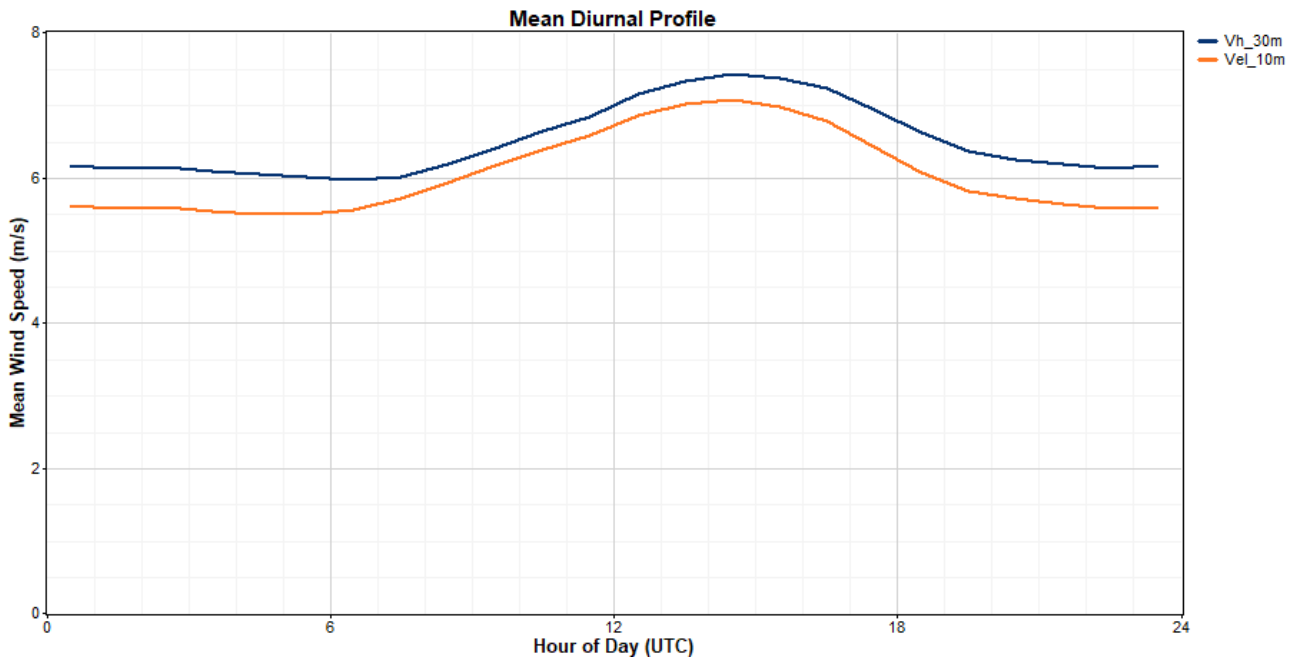
La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



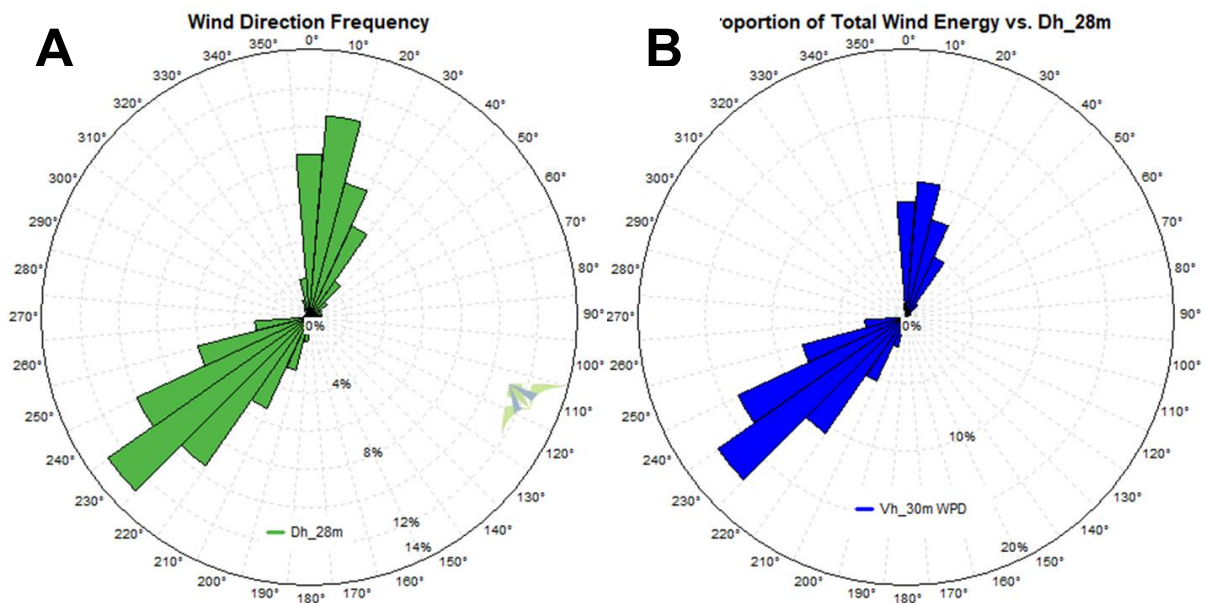
Stazione anemometrica SG06: andamento mensile - h=30m e h=10m



# ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO



*Stazione anemometrica SG06: media giornaliera - h=30m e h=10m*



*Stazione anemometrica SG06: Rosa dei venti - h=28m.*

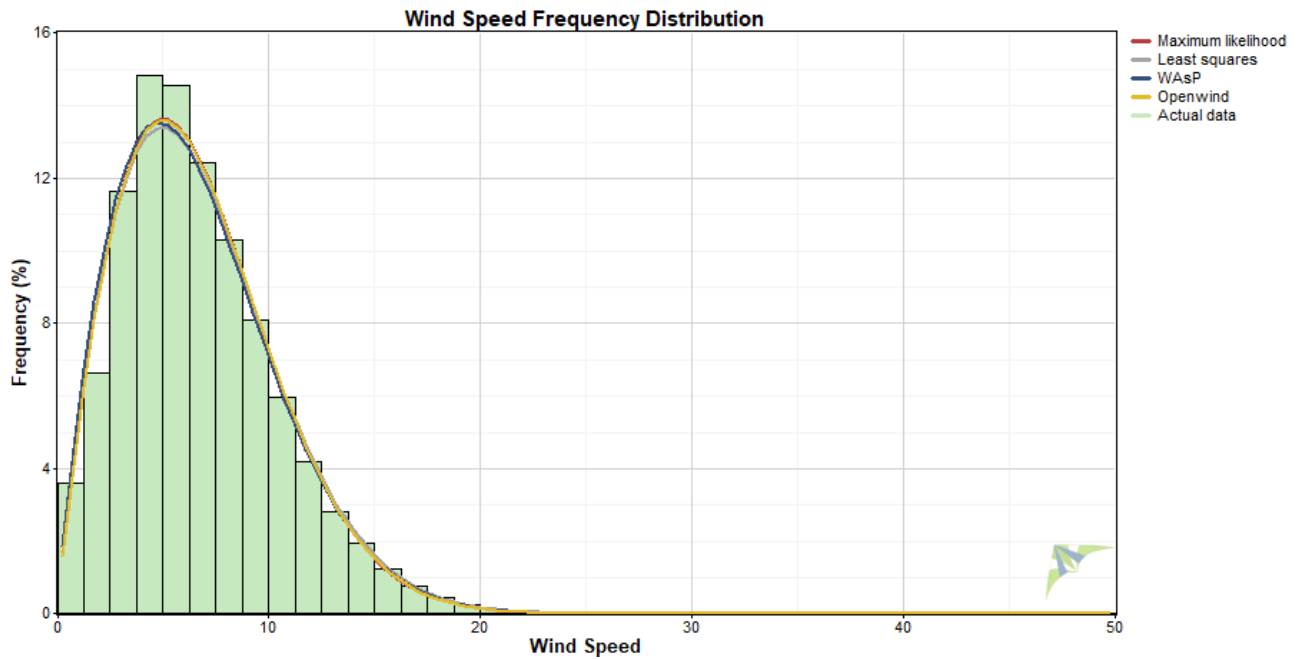
Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per San Giorgio la Molara è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a 230°. Nella tabella sotto è possibile consultare i parametri di Weibull  $k$ ,  $A$ , la  $V_{media}$  e frequenza del vento per ciascuno dei 36 settori in cui è stata suddivisa la rosa dei venti.

ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO  
DI UN PARCO EOLICO

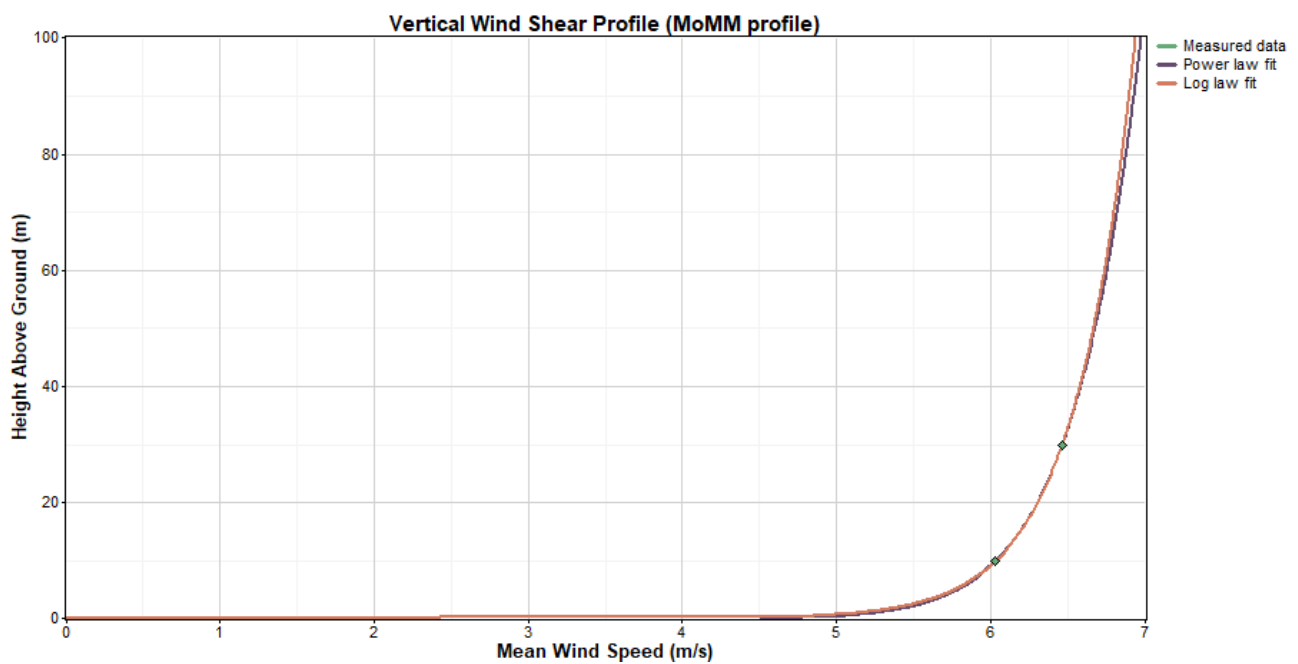
Direzione [°]	k [-]	A [m/s]	Frequenza [%]	V media [m/s]
0	1.91	7.7	8.5	6.82
10	1.99	7.6	10.6	6.78
20	1.84	7.6	7.3	6.74
30	2.00	7.6	5.4	6.71
40	1.91	6.3	2.4	5.63
50	1.66	5.4	1.2	4.83
60	1.55	4.4	0.8	4.00
70	1.75	4.2	0.7	3.77
80	1.94	4.1	0.7	3.60
90	2.11	4.1	0.6	3.60
100	2.19	4.3	0.7	3.81
110	2.09	4.5	0.6	4.00
120	2.19	4.4	0.5	3.93
130	2.02	4.6	0.4	4.04
140	1.93	4.7	0.4	4.15
150	1.73	5.2	0.4	4.59
160	1.60	5.6	0.5	5.05
170	1.64	5.5	0.6	4.92
180	1.53	5.9	0.7	5.27
190	1.48	6.7	1.3	6.04
200	1.60	6.7	2.9	5.97
210	1.54	6.9	5.3	6.23
220	1.77	7.7	9.5	6.86
230	<b>2.16</b>	8.8	<b>12.9</b>	<b>7.77</b>
240	2.20	8.9	10.0	7.90
250	2.16	8.8	6.1	7.76
260	2.23	8.3	2.9	7.34
270	1.41	4.2	0.7	3.80
280	1.32	3.1	0.4	2.87
290	1.22	3.1	0.3	2.90
300	1.10	3.2	0.3	3.06
310	0.98	3.3	0.3	3.31
320	1.26	3.6	0.4	3.36
330	1.40	4.3	0.6	3.94
340	1.57	4.8	1.0	4.34
350	1.46	5.5	2.1	4.98
<b>Totale</b>	<b>1.82</b>	<b>7.5</b>	<b>100%</b>	<b>6.62</b>

*Stazione anemometrica SG06: Tabella delle frequenze*





Stazione anemometrica SG06: Curva teorica di Weibull -  $h=30m$



Stazione anemometrica SG06: Profilo verticale di velocità (Wind Shear)

### 2.2.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza h;

$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

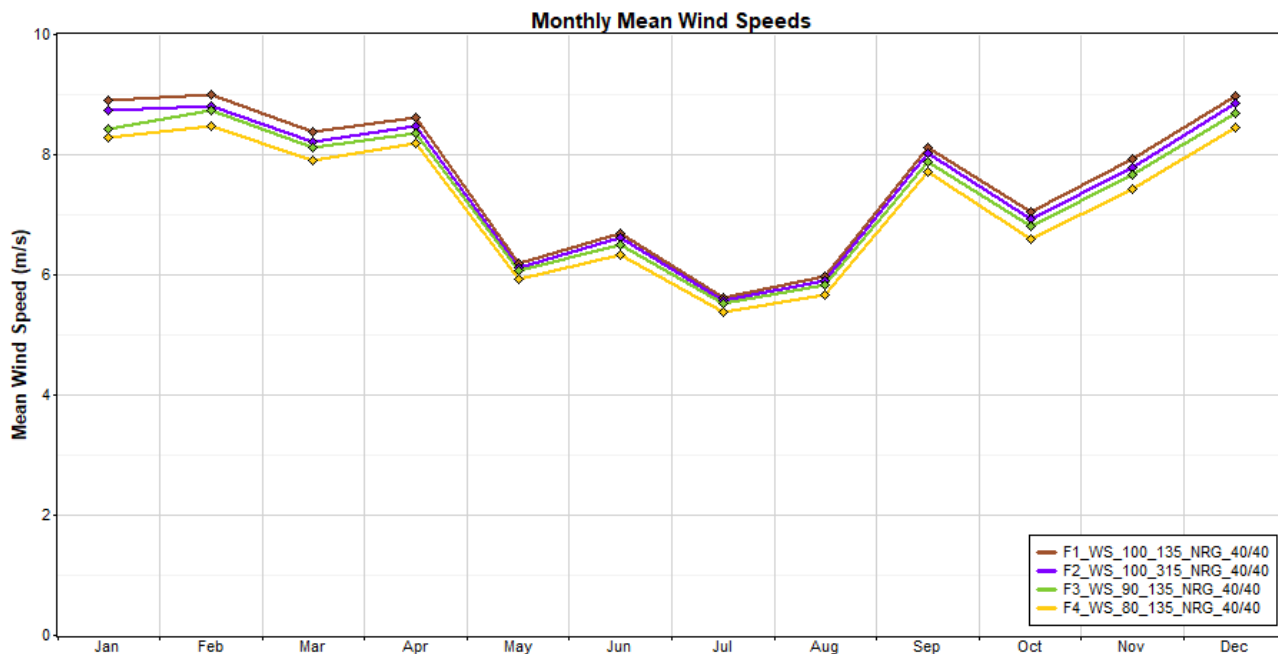
Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica SG06 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a **0,06**.

### 2.3. *Stazione anemometrica SGR01*

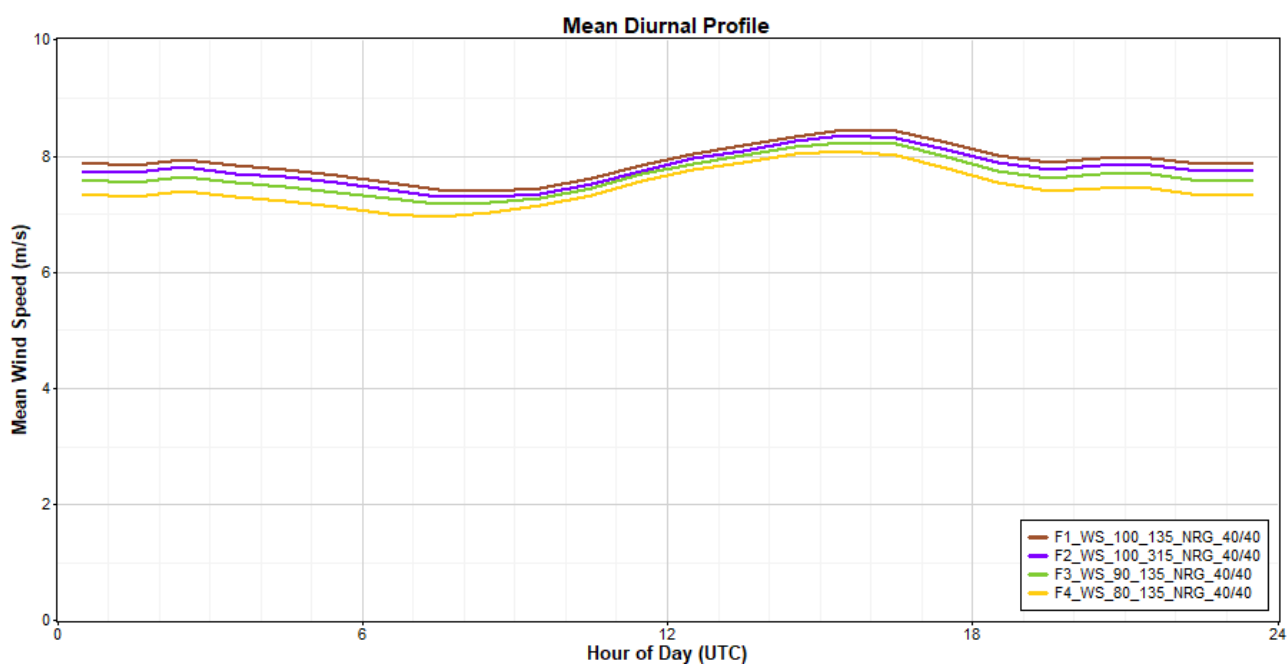
Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica SGR01 è costituito da 4 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 100 metri, 90 m e 80 metri sls e da 2 sensori di direzione del tipo NRG #200M Wind Direction Vane, 10K posti all'altezza di 98 e 78 metri s.l.s, inoltre è presente un sensore di temperatura del tipo NRG T60 posto a 3 metri sls. La stazione anemometrica è stata installata il 29 Settembre 2021 ed è ancora attiva.

I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa due anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Orbit 360 della Kintech Engineering con frequenza di acquisizione 10 minuti. Poiché i dati raccolti coprono un periodo di tempo di circa due anni, si è deciso di utilizzare la stazione anemometrica installata sempre nel territorio di San Marco denominata SM01 da 30 m, al fine di correlare e adattare i dati della SG06 con il processo del MCP (Measure Correlate and Predict), al fine di ridurre l'incertezza nelle stime della produzione di energia.

A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato pari a circa il 98.8% per l'anemometro a 100 m (135°), al 98.9% per l'anemometro a 100 m (315°), al 98.8% per l'anemometro a 90 m, al 98.8% per l'anemometro a 80 m, al 99.4% per il sensore di direzione a 98 metri e al 99.0% per il sensore di direzione a 78 m. La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



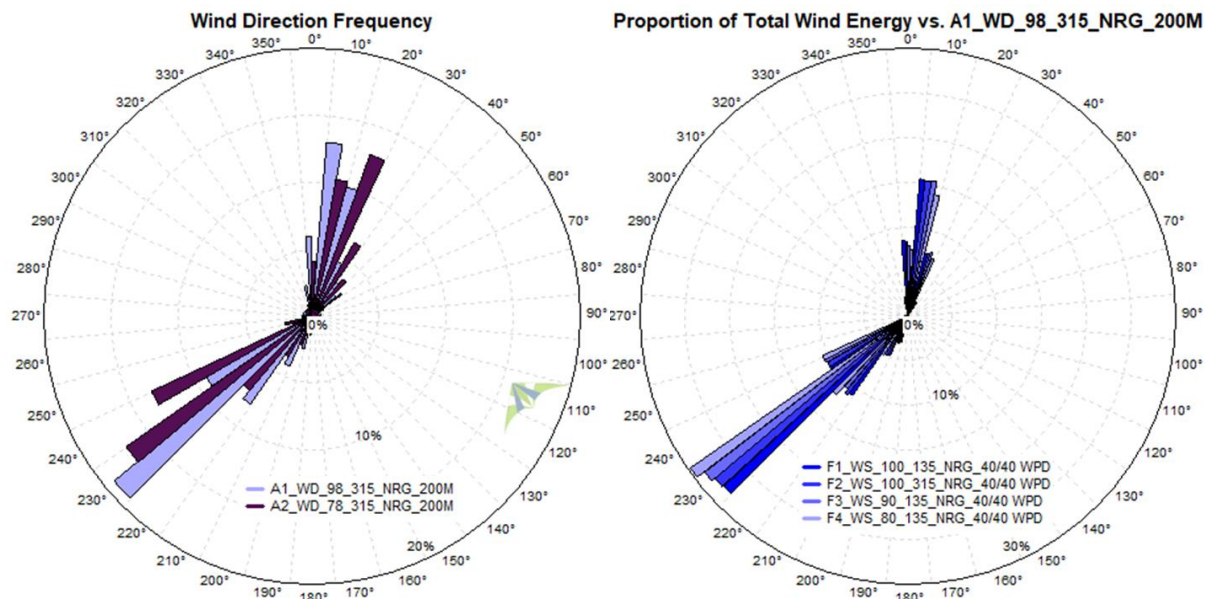
Stazione anemometrica SGR01: andamento mensile -  $h=100m$ ,  $h=90m$  e  $h=80m$



Stazione anemometrica SGR01: media giornaliera -  $h=100m$ ,  $h=90m$  e  $h=80m$

A

B



Stazione anemometrica SGR01: Rosa dei venti - A) distribuzione per settori della frequenza del vento a 98 m e 78 m di altezza; B) distribuzione dell'energia disponibile a 100, 90 e 80 m.

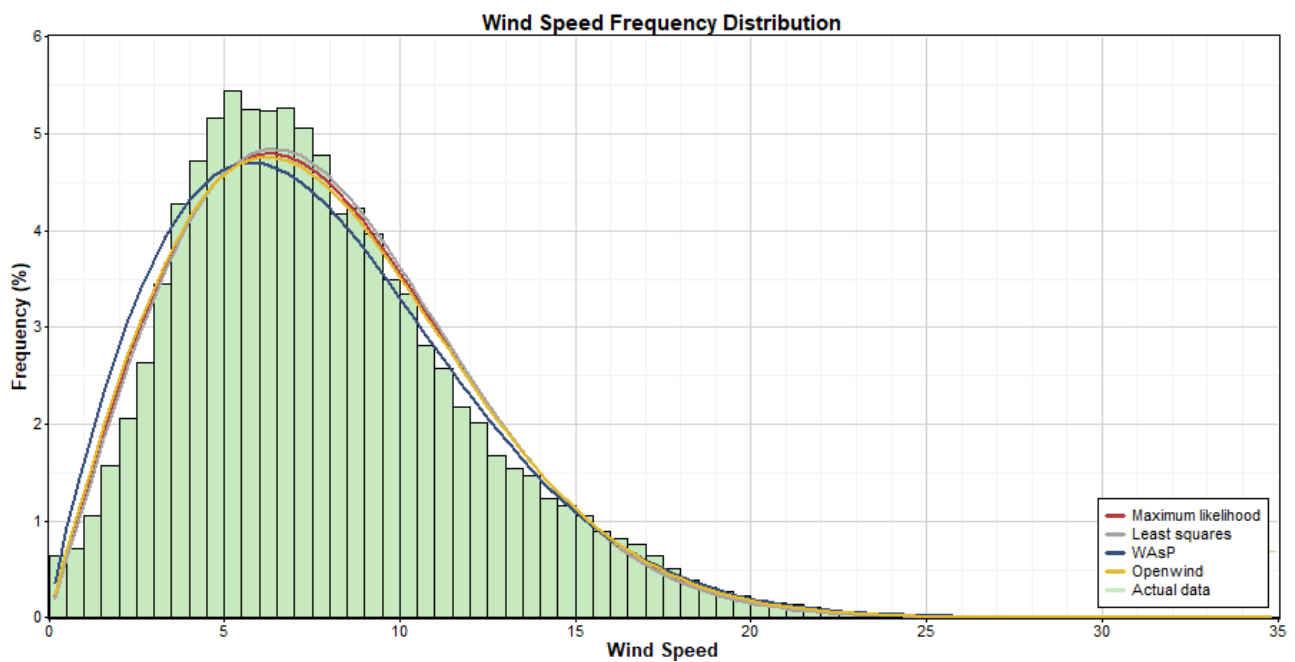
Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per San Giorgio la Molara è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a 230°. Nella tabella di seguito è possibile consultare i parametri di Weibull: k, A, la velocità media e la frequenza del vento per ciascuno dei 36 settori in cui è stata suddivisa la rosa dei venti.

Direzione [°]	k [-]	A [m/s]	Frequenza [%]	V media [m/s]
0	1.76	9.1	6.3	8.14
10	1.99	9.2	12.7	8.15
20	2.23	8.1	9.9	7.22
30	2.16	6.6	4.6	5.88
40	2.49	6.3	3.2	5.61
50	2.05	6.3	2.3	5.62
60	1.79	5.5	1.1	4.89
70	1.59	5.6	0.8	4.99
80	1.92	5.1	0.5	4.57
90	1.75	4.6	0.5	4.11
100	2.01	4.3	0.3	3.83
110	2.40	4.4	0.4	3.87
120	2.26	4.2	0.4	3.68
130	2.07	3.8	0.3	3.41
140	1.88	4.1	0.3	3.60
150	2.46	4.1	0.3	3.60
160	1.93	4.3	0.4	3.81

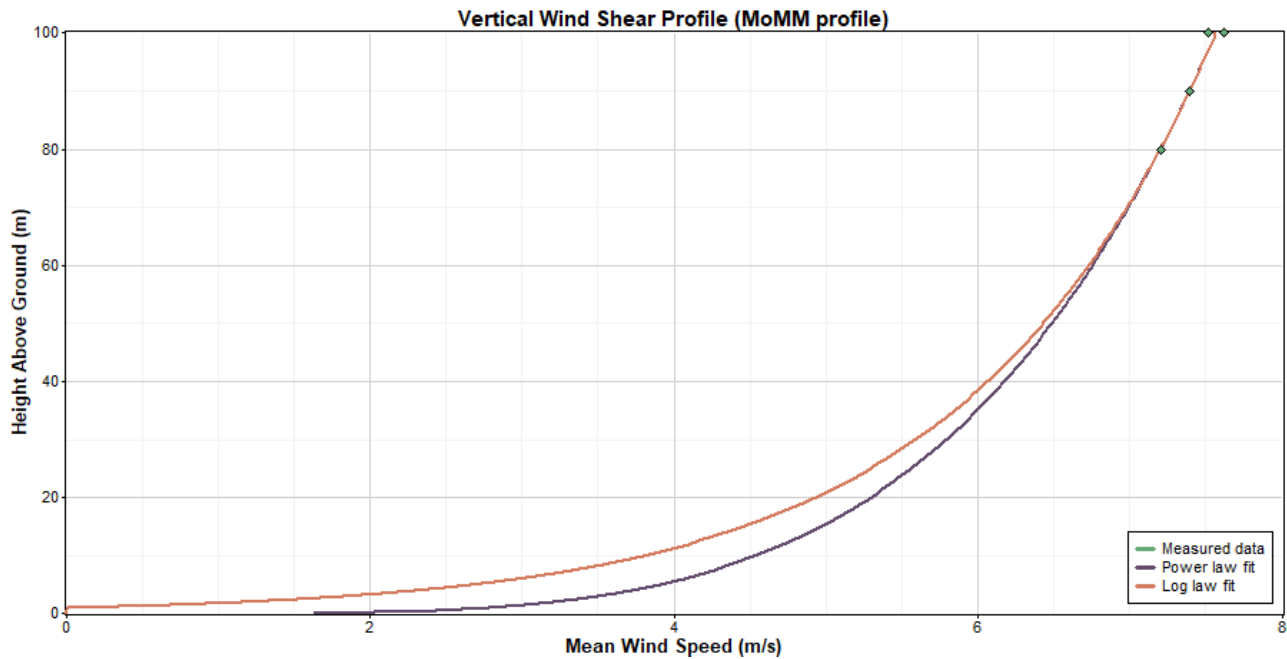
## ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO

<b>170</b>	1.53	4.3	0.5	3.84
<b>180</b>	1.70	5.5	0.8	4.93
<b>190</b>	1.54	7.7	1.5	6.90
<b>200</b>	1.66	8.6	2.5	7.70
<b>210</b>	1.65	8.3	4.2	7.41
<b>220</b>	1.78	9.0	8.3	8.00
<b>230</b>	<b>2.36</b>	<b>10.4</b>	<b>19.3</b>	<b>9.22</b>
<b>240</b>	2.16	9.3	9.6	8.26
<b>250</b>	1.50	5.2	1.8	4.67
<b>260</b>	1.51	4.1	0.7	3.66
<b>270</b>	1.44	4.2	0.5	3.78
<b>280</b>	1.67	3.8	0.4	3.35
<b>290</b>	1.44	3.8	0.4	3.47
<b>300</b>	1.78	3.8	0.4	3.40
<b>310</b>	2.09	3.6	0.4	3.20
<b>320</b>	1.41	3.7	0.5	3.33
<b>330</b>	1.50	5.3	0.7	4.81
<b>340</b>	1.72	6.9	1.1	6.15
<b>350</b>	1.72	8.0	2.4	7.10
<b>Totale</b>	<b>1.85</b>	<b>8.4</b>	<b>100%</b>	<b>7.42</b>

*Stazione anemometrica SGR01: Tabella delle frequenze – h=100m.*



*Stazione anemometrica SGR01: Curva teorica di Weibull - h=100m*



Stazione anemometrica SGR01: Profilo verticale di velocità (Wind Shear)

### 2.3.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza  $h$ ;

$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica SGR01 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a **0,222**.

### 2.4. Stazione anemometrica MO01

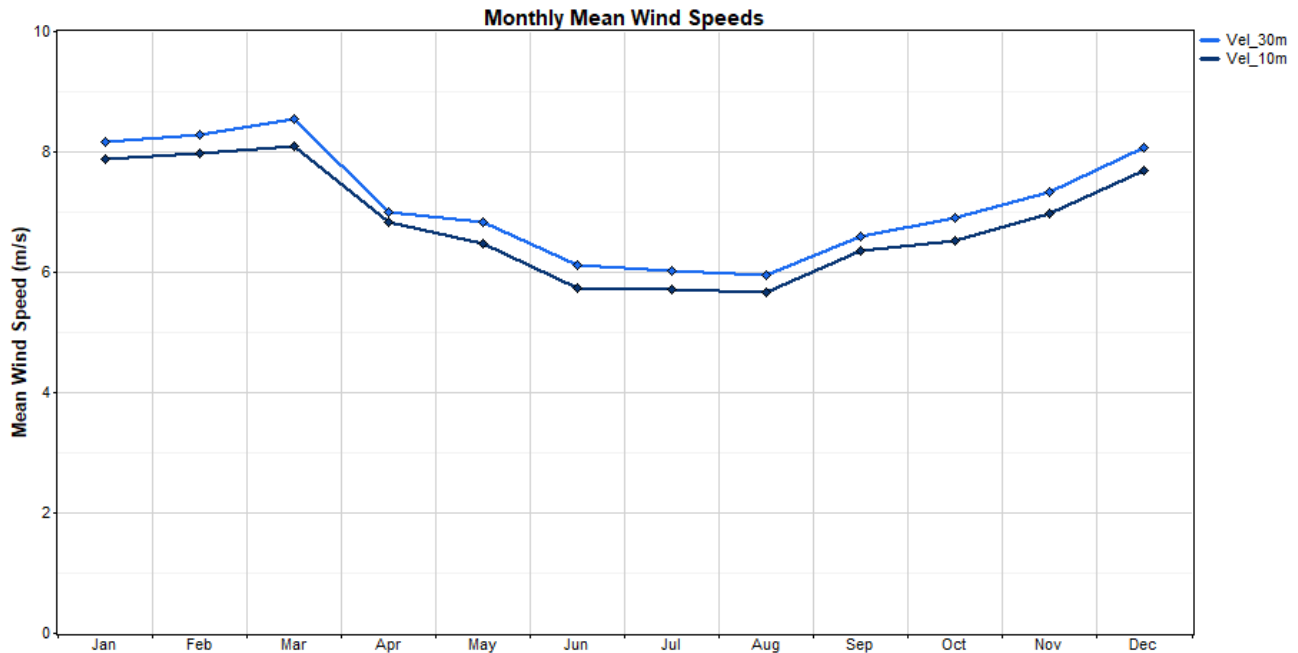
Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica MO01 è costituito da 2 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 30 metri e 10 metri sls e da 2 sensori di direzione del tipo NRG #200P Wind Direction Vane, 10K posto all'altezza di 28 e 8 metri sls, inoltre è presente un sensore di temperatura interno alla centralina del Logger. La stazione anemometrica è stata installata il 10 Giugno 1996 e ancora attiva. I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa 17 anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Nomad 2 della Second Wind con frequenza di acquisizione 10 minuti.

A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato

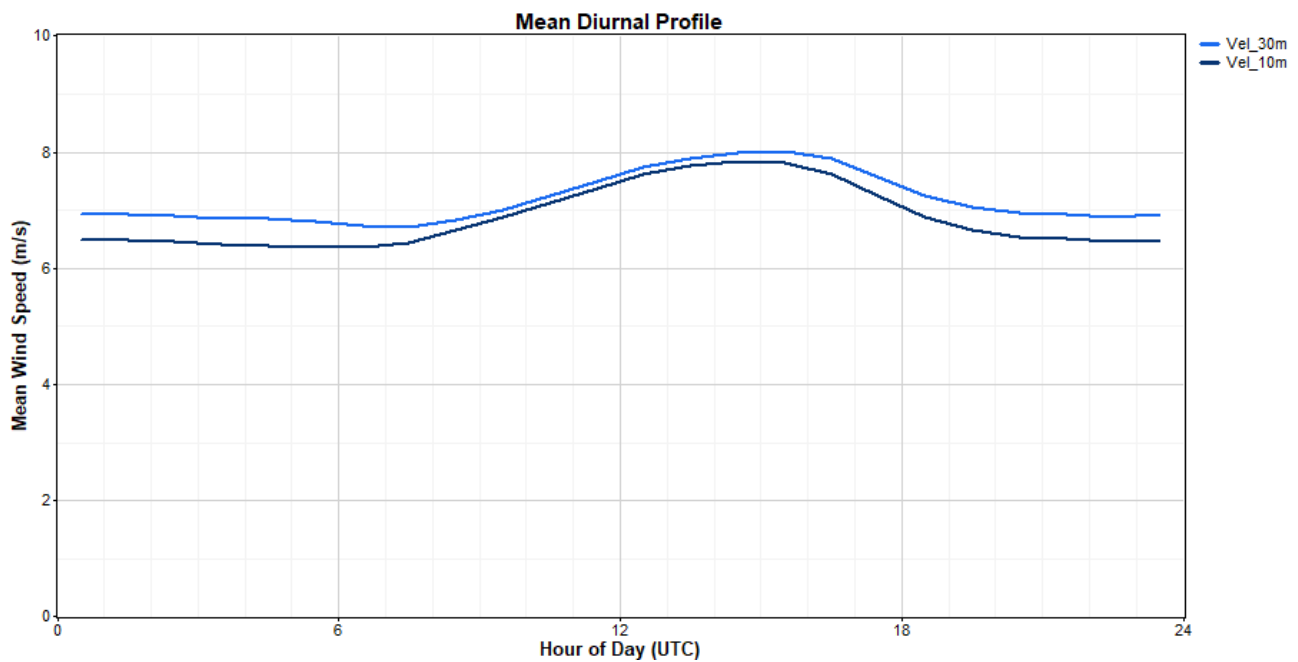


pari al 83.3% per l'anemometro a 30 metri, all'86.4% per l'anemometro a 10 metri, all'83.6% per la direzione a 28 metri e a 83.9% per la direzione a 10 metri.

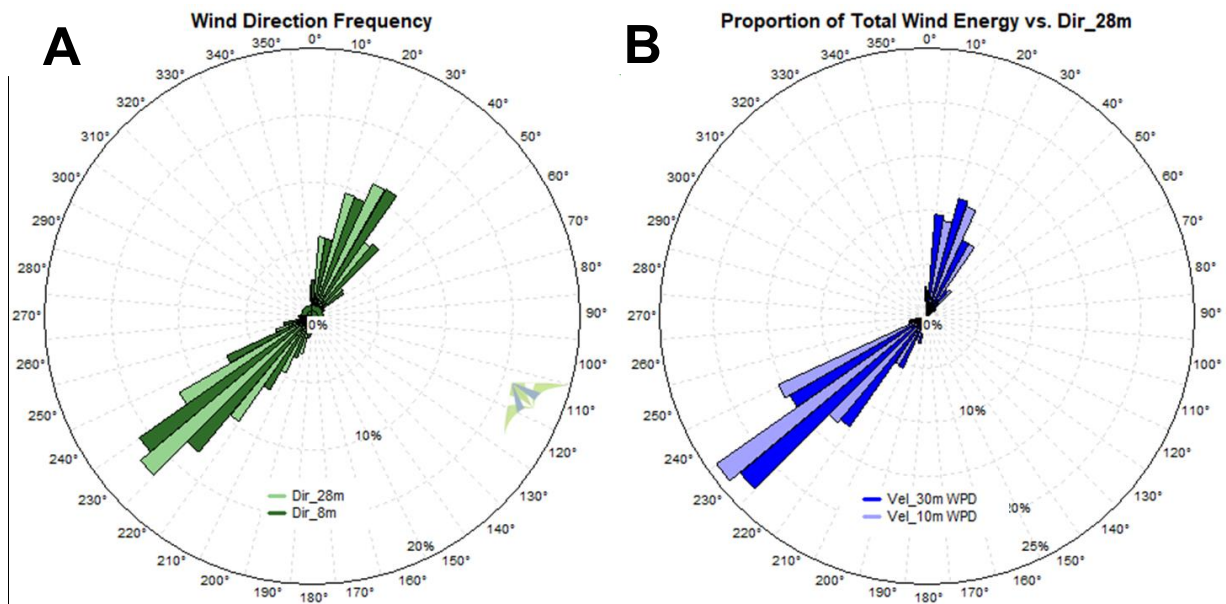
La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



Stazione anemometrica MO01: andamento mensile - h=30m e h=10m



Stazione anemometrica MO01: media giornaliera - h=30m e h=10m



Stazione anemometrica MO01: Rosa dei venti - A) distribuzione per settori della frequenza del vento a 28 m e 8 m di altezza; B) distribuzione dell'energia disponibile a 30 m e 10 m.

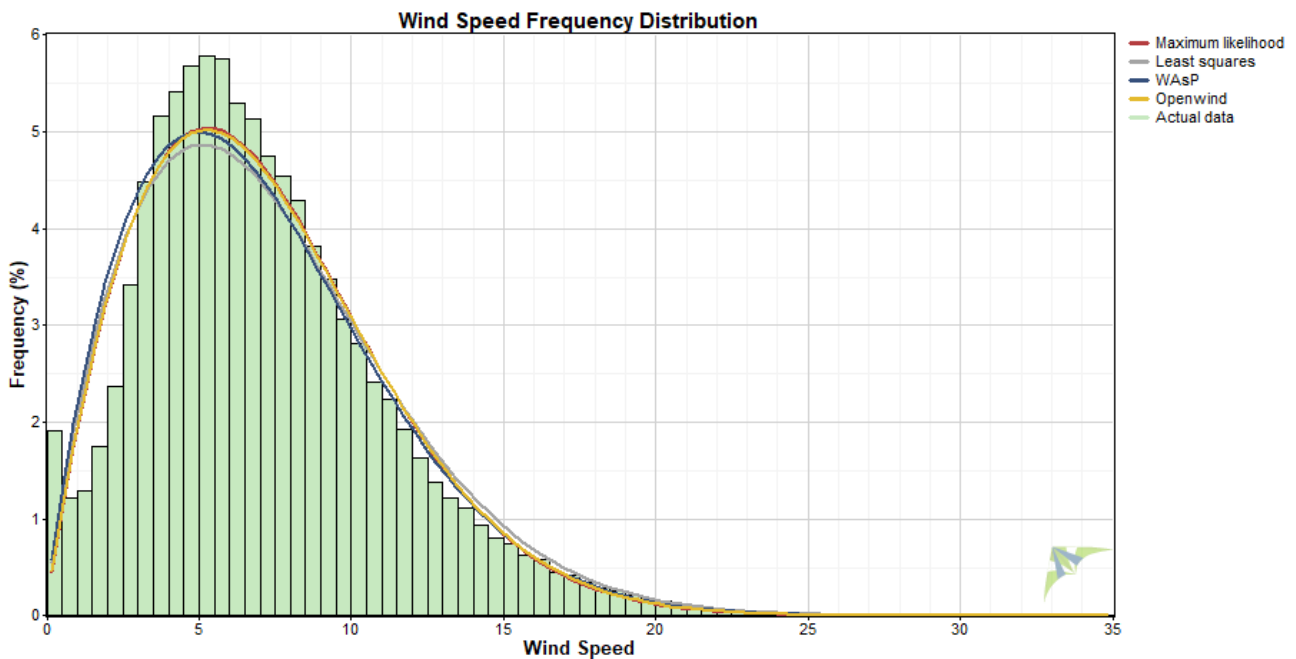
Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per Molinara è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a 230°. Nella tabella sotto è possibile consultare i parametri di Weibull  $k$ ,  $A$ , la  $V_{media}$  e frequenza del vento per ciascuno dei 36 settori in cui è stata suddivisa la rosa dei venti.

Direzione [°]	$k$ [-]	$A$ [m/s]	Frequenza [%]	$V_{media}$ [m/s]
0	2.14	9.0	2.4	7.97
10	2.09	9.8	6.1	8.71
20	2.03	8.8	9.7	7.84
30	2.07	7.6	10.9	6.69
40	2.04	6.6	6.6	5.83
50	1.85	5.9	2.9	5.26
60	1.58	5.0	1.1	4.48
70	1.35	4.2	0.5	3.89
80	1.37	4.1	0.3	3.76
90	1.52	4.6	0.3	4.18
100	2.17	4.4	0.3	3.90
110	2.24	4.6	0.4	4.04
120	2.16	4.2	0.3	3.75
130	1.85	4.1	0.3	3.66
140	1.67	4.3	0.3	3.87
150	1.55	4.2	0.4	3.82
160	1.63	4.4	0.4	3.94
170	1.68	4.7	0.6	4.15
180	1.77	5.2	0.8	4.61
190	1.74	6.4	1.6	5.70
200	1.72	7.6	3.0	6.74
210	1.57	7.8	4.8	6.98

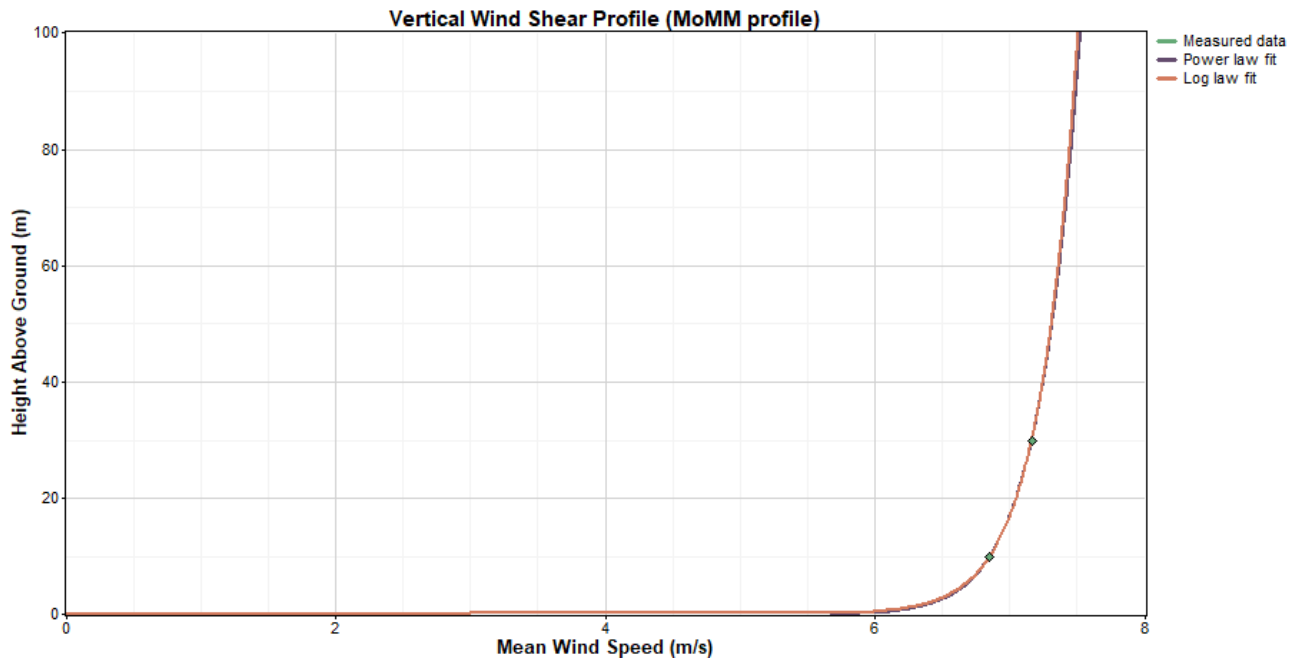
## ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO

<b>220</b>	1.72	8.5	9.7	7.60
<b>230</b>	<b>2.00</b>	<b>9.2</b>	<b>17.0</b>	<b>8.19</b>
<b>240</b>	1.91	9.0	11.4	8.00
<b>250</b>	1.59	6.5	3.0	5.87
<b>260</b>	1.43	4.0	1.0	3.60
<b>270</b>	1.60	3.2	0.6	2.91
<b>280</b>	1.57	2.9	0.4	2.64
<b>290</b>	1.63	3.2	0.3	2.84
<b>300</b>	2.09	3.4	0.3	3.03
<b>310</b>	1.86	3.6	0.3	3.16
<b>320</b>	1.52	4.0	0.3	3.63
<b>330</b>	1.61	5.0	0.3	4.46
<b>340</b>	1.62	5.9	0.5	5.25
<b>350</b>	1.79	7.1	0.9	6.35
<b>Totale</b>	<b>1.77</b>	<b>8.0</b>	<b>100%</b>	<b>7.04</b>

*Stazione anemometrica MO01: Tabella delle frequenze*



*Stazione anemometrica MO01: Curva teorica di Weibull - h=10m*



Stazione anemometrica MO01: Profilo verticale di velocità (Wind Shear)

### 2.3.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza  $h$ ;

$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

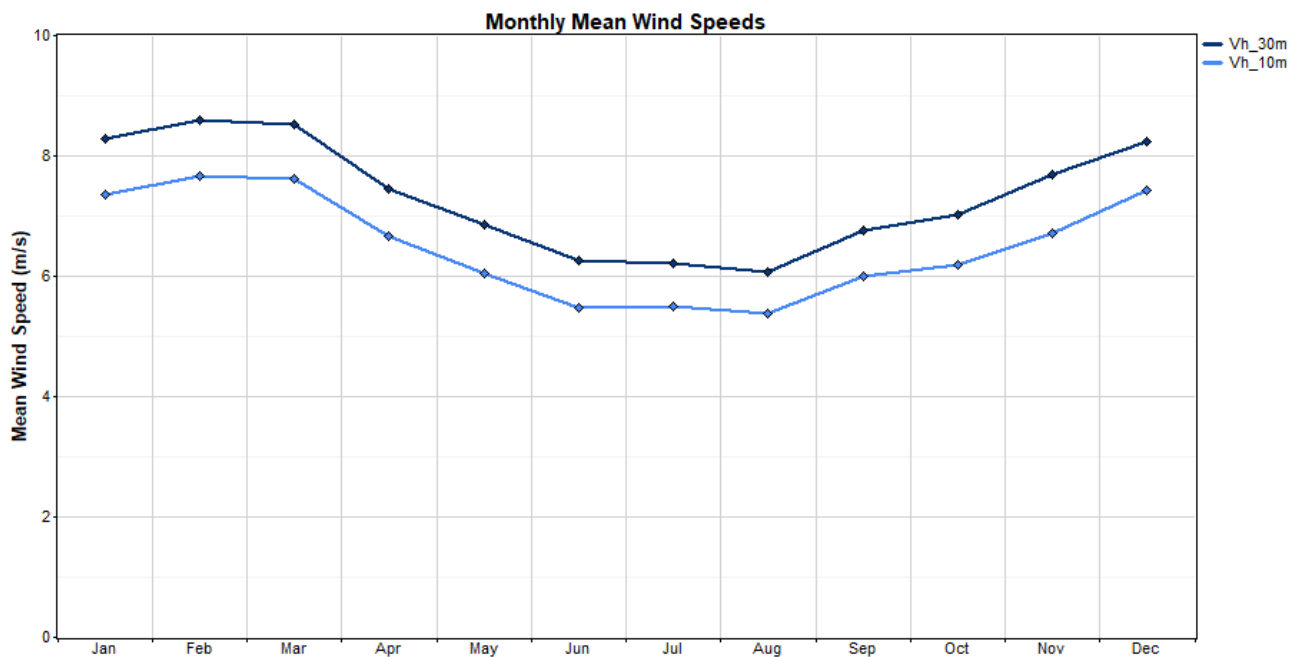
Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica MO01 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a **0,04**.

### 2.4. Stazione anemometrica BA02

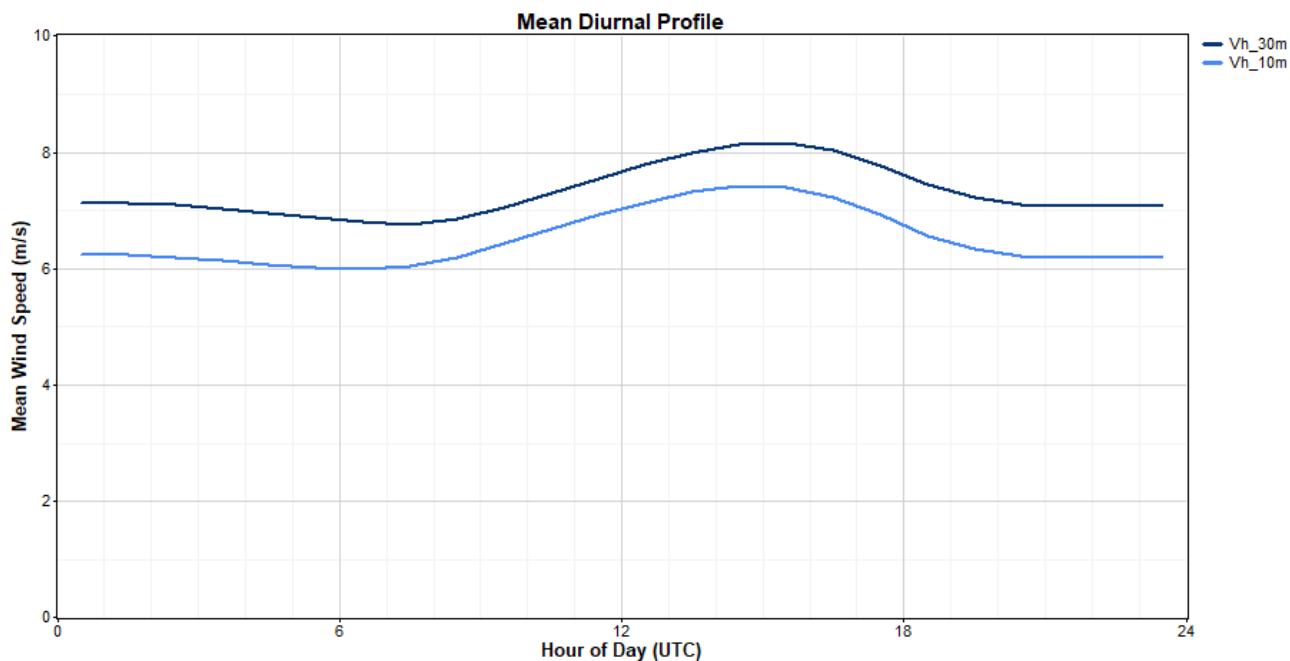
Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica BA02 è costituito da 2 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 30 metri e 10 metri sls e da 1 sensorE di direzione del tipo NRG #200P Wind Direction Vane, 10K posto all'altezza di 28, inoltre è presente un sensore di temperatura interno alla centralina del Logger. La stazione anemometrica è stata installata il 05 Luglio 1996 e ancora attiva. I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa 27 anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Nomad 2 della Second Wind con frequenza di acquisizione 10 minuti.

A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato pari al 89.5% per l'anemometro a 30 metri, all'89.3% per l'anemometro a 10 metri e all'89.0% per la direzione a 28 metri.

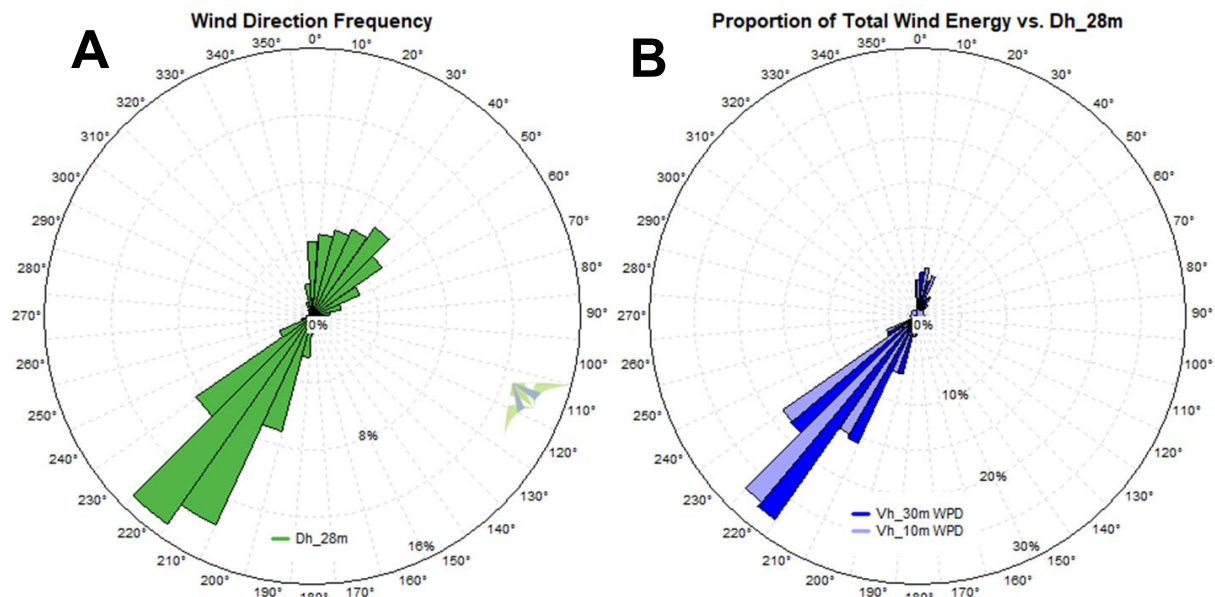
La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



Stazione anemometrica BA02: andamento mensile -  $h=30m$  e  $h=10m$



Stazione anemometrica BA02: media giornaliera -  $h=30m$  e  $h=10m$



Stazione anemometrica BA02: Rosa dei venti - A) distribuzione per settori della frequenza del vento a 28 m di altezza; B) distribuzione dell'energia disponibile a 30 m e 10 m.

Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per Baselice-Foiano è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a 220°. Nella tabella sotto è possibile consultare i valori di  $k$ ,  $A$ ,  $V_{media}$  e frequenza del vento.

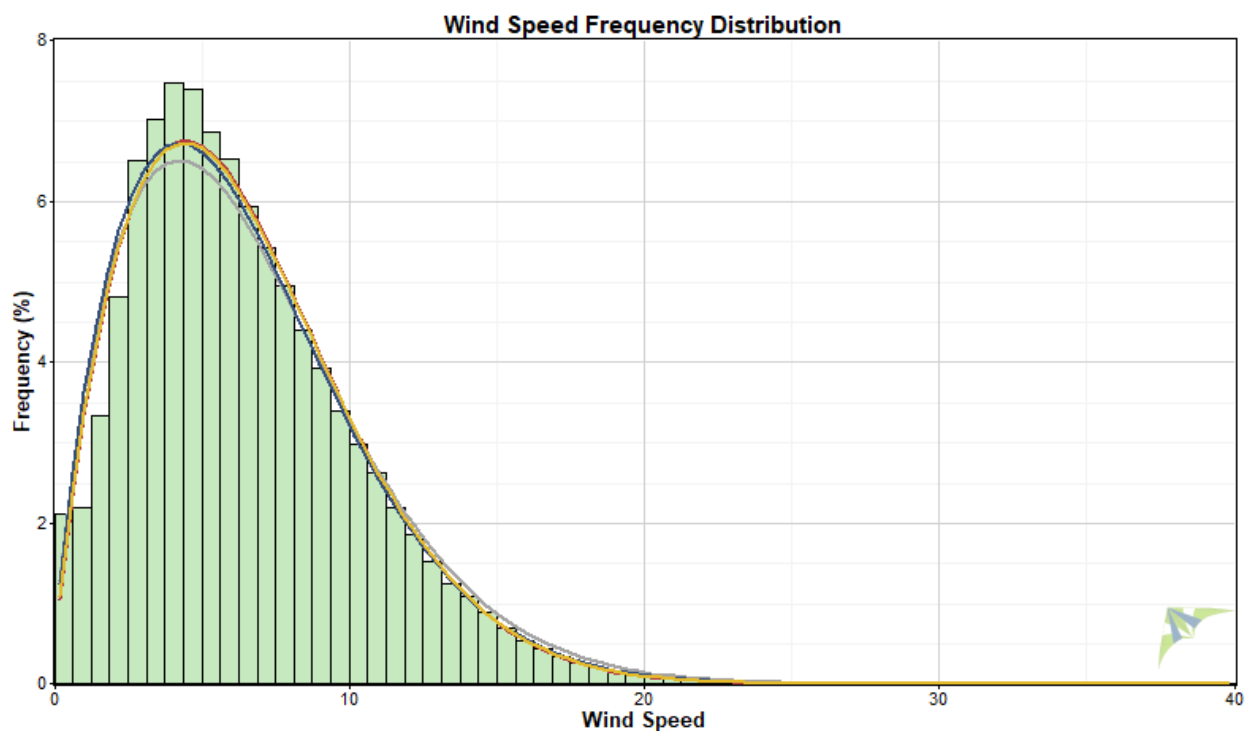
Direzione [°]	$k$ [-]	$A$ [m/s]	Frequenza [%]	$V_{media}$ [m/s]
0	2.12	8.6	4.5	7.66
10	2.10	8.9	5.0	7.86
20	2.01	8.0	5.4	7.13
30	2.06	6.6	5.8	5.89
40	2.32	5.9	6.5	5.26
50	2.16	5.3	5.1	4.69
60	1.96	4.5	3.2	3.99
70	1.81	3.9	1.8	3.49
80	1.54	3.6	1.1	3.23
90	1.46	3.4	0.7	3.08
100	1.28	3.7	0.5	3.42
110	1.21	3.8	0.4	3.60
120	1.13	4.1	0.4	3.90
130	1.11	3.8	0.4	3.68
140	1.03	3.9	0.4	3.84
150	1.15	4.6	0.4	4.41
160	1.29	5.7	0.5	5.23
170	1.44	6.9	0.7	6.28
180	1.64	7.7	1.2	6.87
190	1.77	8.2	2.6	7.31
200	1.85	8.4	7.2	7.42
210	2.04	9.2	13.8	8.18
220	<b>2.34</b>	<b>11.2</b>	<b>15.1</b>	<b>9.95</b>



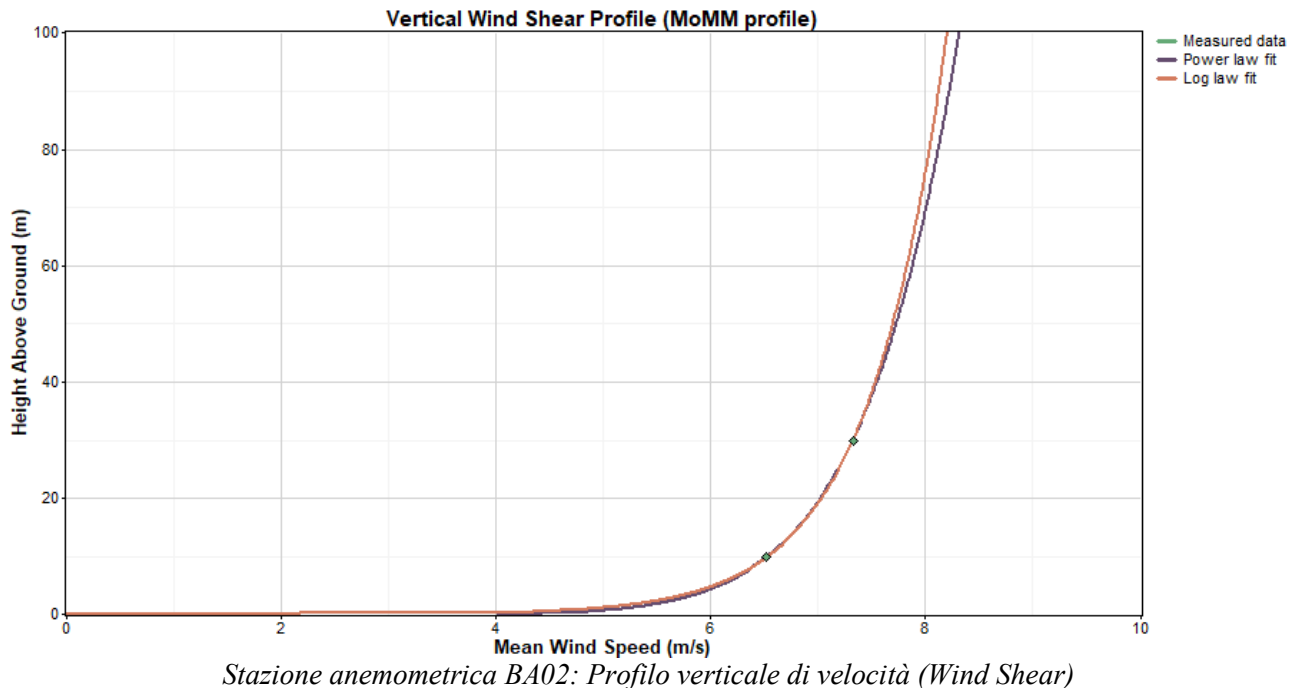
## ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO

<b>230</b>	2.36	11.9	8.5	10.56
<b>240</b>	1.73	10.0	2.3	8.92
<b>250</b>	1.05	5.3	0.8	5.15
<b>260</b>	0.95	2.9	0.4	2.93
<b>270</b>	1.23	2.8	0.3	2.60
<b>280</b>	1.25	2.6	0.3	2.38
<b>290</b>	1.35	2.8	0.3	2.57
<b>300</b>	1.32	2.9	0.3	2.67
<b>310</b>	1.48	3.5	0.3	3.17
<b>320</b>	1.42	3.8	0.4	3.43
<b>330</b>	1.35	4.3	0.5	3.92
<b>340</b>	1.63	5.4	1.0	4.81
<b>350</b>	2.00	6.9	2.0	6.13
<b>Totale</b>	<b>1.67</b>	<b>8.1</b>	<b>100%</b>	<b>7.29</b>

*Stazione anemometrica BA02: Tabella delle frequenze*



*Stazione anemometrica BA02: Curva teorica di Weibull -  $h=10m$*



#### 2.4.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza  $h$ ;

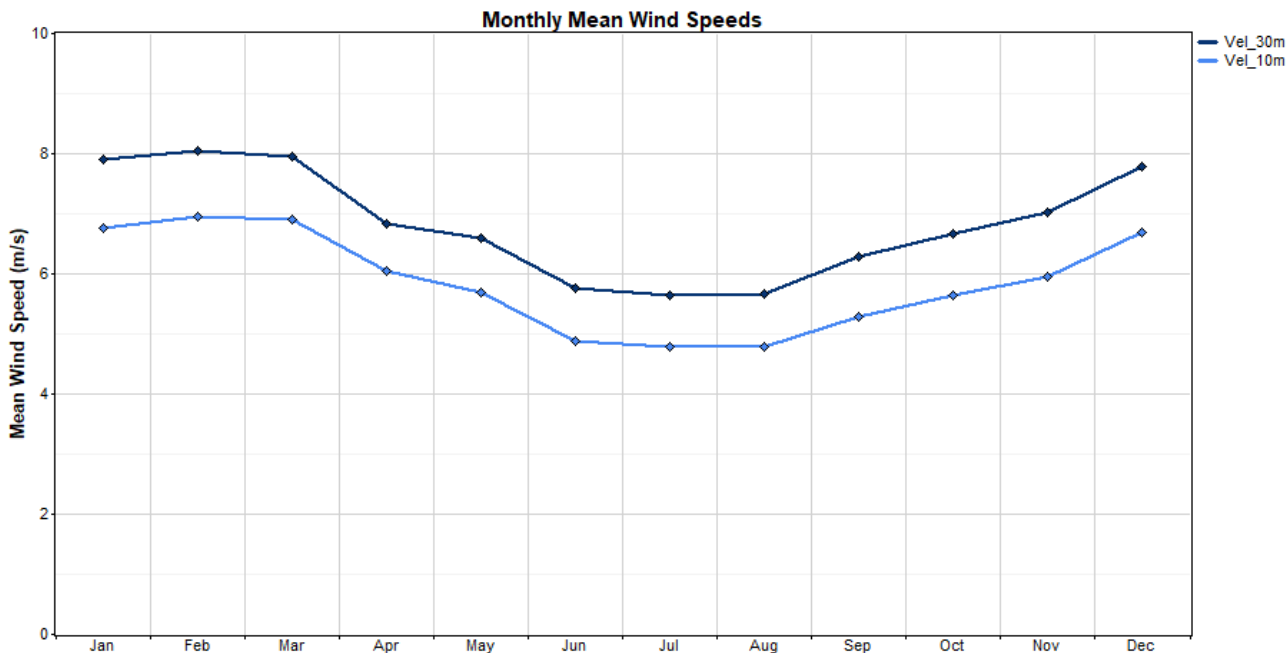
$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica BA02 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a **0,105**.

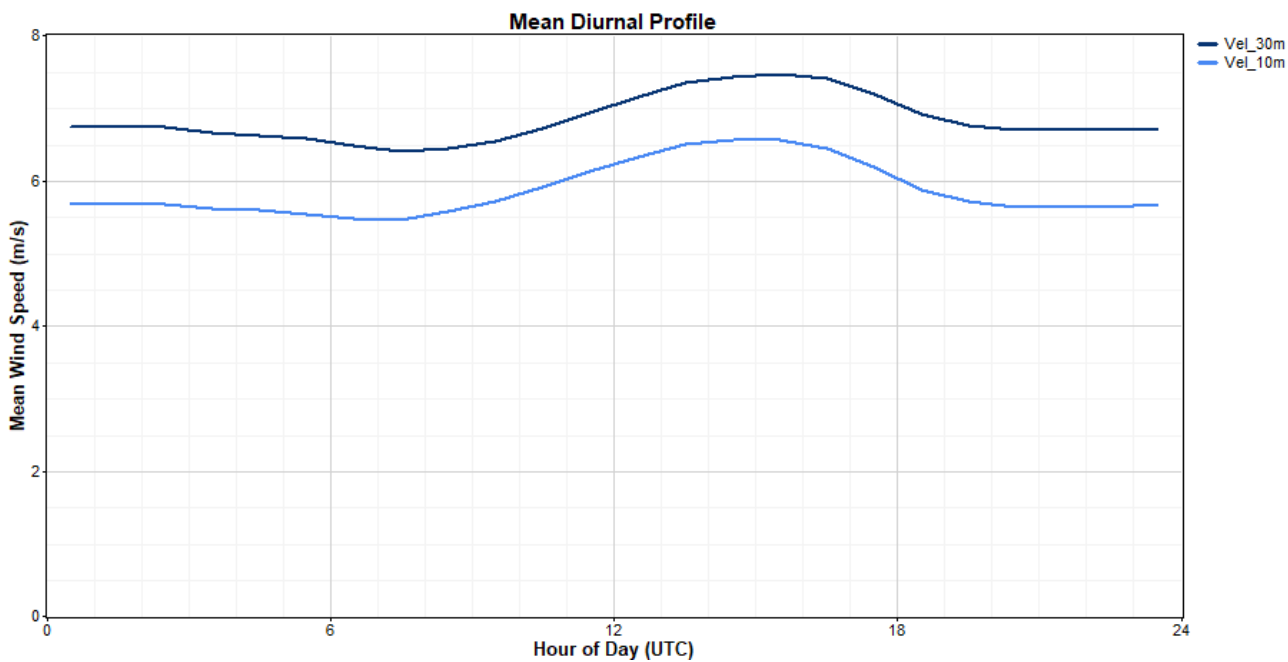
#### 2.5. Stazione anemometrica SM01

Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica SM01 è costituito da 2 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 30 metri e 10 metri sls e da 1 sensore di direzione del tipo NRG #200P Wind Direction Vane, 10K posto all'altezza di 28 s.l.s, inoltre è presente un sensore di temperatura interno alla centralina del Logger. La stazione anemometrica è stata installata il 10 Giugno 1996 ed è ancora attiva. I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa 20 anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Nomad2 della Second Wind con frequenza di acquisizione 10 minuti. A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato pari a circa il 78.5% per l'anemometro a 30m, al 81.4% per l'anemometro a 10 metri e al 78,5% per il sensore di direzione a 28 metri. La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite

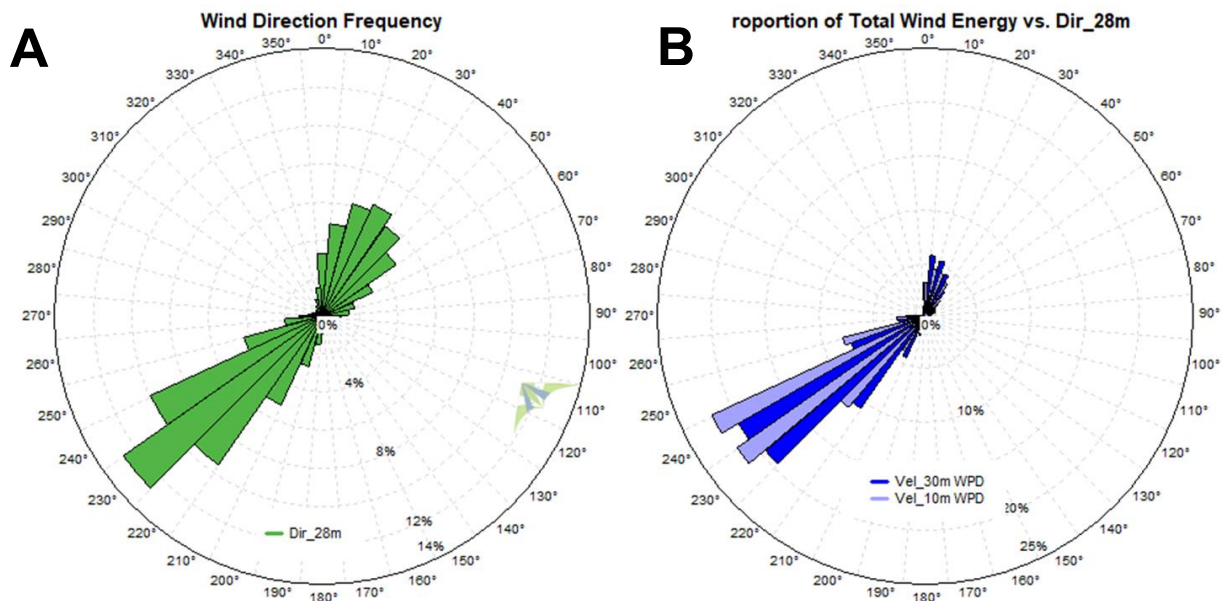
sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



Stazione anemometrica SM01: andamento mensile -  $h = 30\text{ m}$  e  $h = 10\text{ m}$



Stazione anemometrica SM01: media giornaliera -  $h = 30\text{ m}$  e  $h = 10\text{ m}$



Stazione anemometrica SM01: Rosa dei venti - A) distribuzione per settori della frequenza del vento a 28 m di altezza; B) distribuzione dell'energia disponibile a 30 m e 10 m.

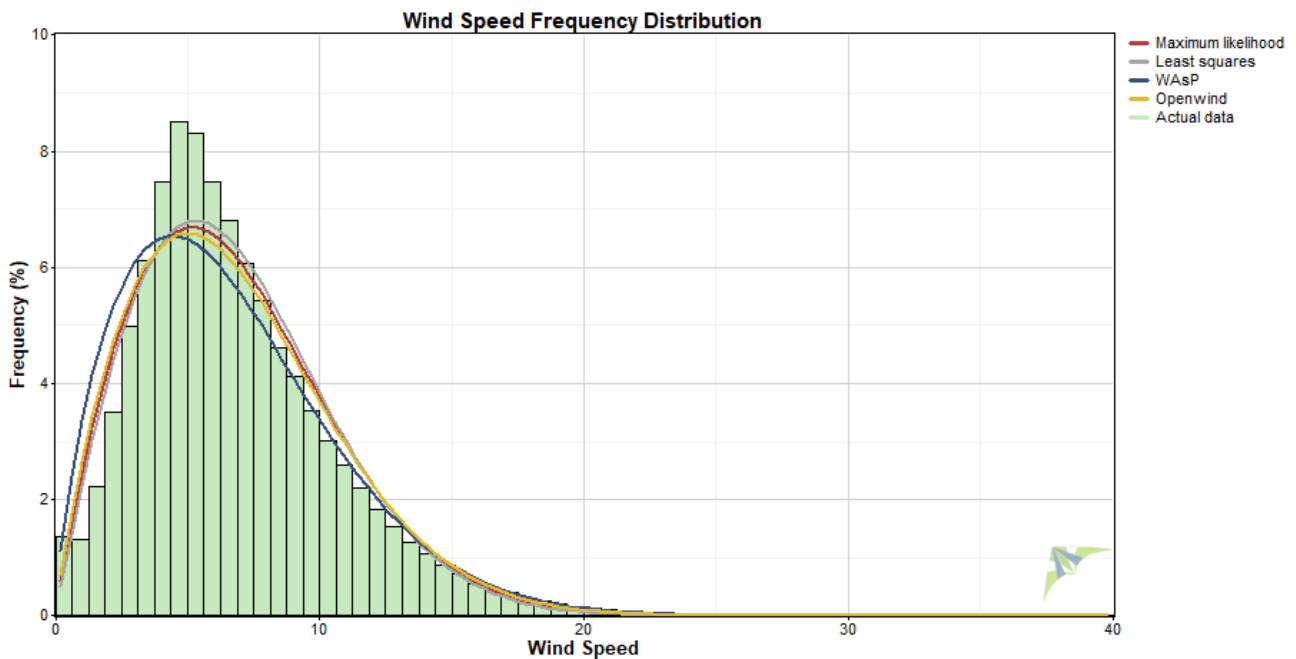
Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per San Marco è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a 230°. Nella tabella sotto è possibile consultare i parametri di Weibull  $k$ ,  $A$ , la  $V_{media}$  e frequenza del vento per ciascuno dei 36 settori in cui è stata suddivisa la rosa dei venti.

Direzione [°]	$k$ [-]	$A$ [m/s]	Frequenza [%]	$V_{media}$ [m/s]
0	2.17	8.1	3.3	7.17
10	2.04	8.5	5.0	7.51
20	1.81	7.4	6.2	6.59
30	2.06	7.1	6.6	6.29
40	2.16	6.6	5.9	5.80
50	1.96	5.6	4.7	4.92
60	1.73	5.4	3.0	4.79
70	1.71	5.7	1.8	5.07
80	1.74	5.5	1.4	4.89
90	1.88	5.3	1.1	4.73
100	1.72	4.8	0.8	4.32
110	1.87	4.6	0.7	4.08
120	1.78	4.6	0.6	4.08
130	1.73	4.4	0.5	3.90
140	1.81	4.1	0.4	3.69
150	1.87	4.4	0.4	3.90
160	2.16	4.8	0.5	4.28
170	1.75	5.4	0.7	4.86
180	1.82	6.1	0.9	5.46
190	1.76	6.8	1.5	6.01
200	1.73	6.8	2.8	6.06

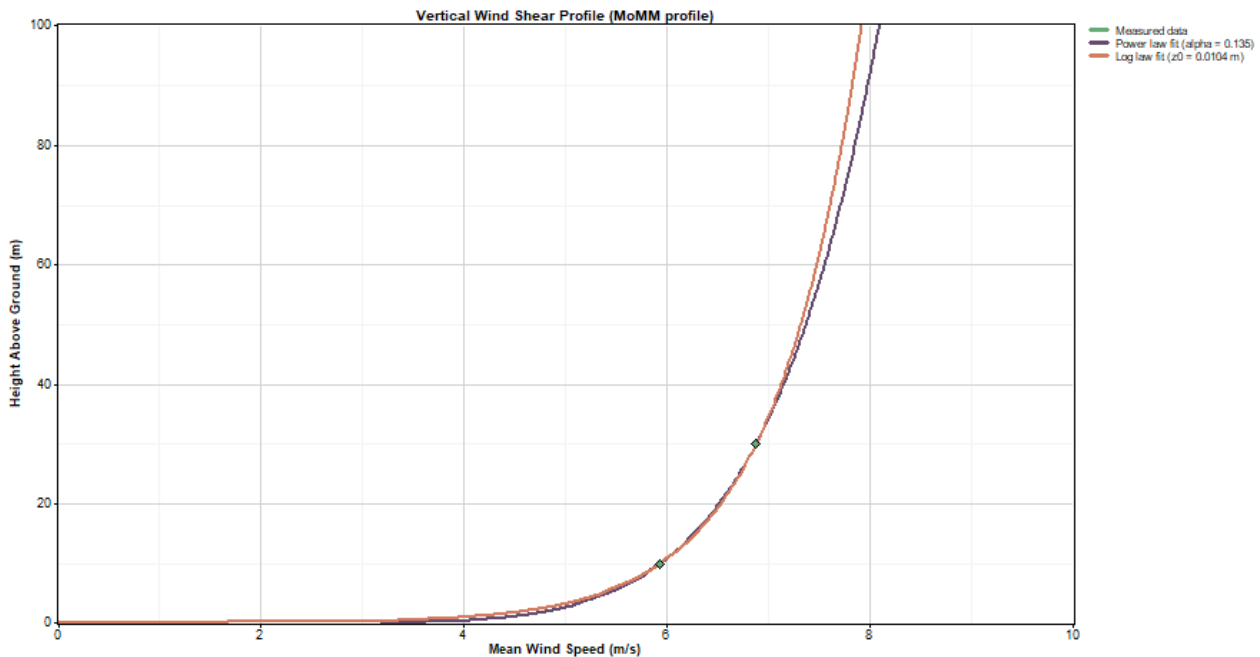
## ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO

<b>210</b>	1.78	7.2	5.2	6.37
<b>220</b>	1.89	8.1	9.6	7.20
<b>230</b>	<b>2.08</b>	9.3	<b>12.8</b>	<b>8.27</b>
<b>240</b>	2.19	10.4	10.0	9.22
<b>250</b>	1.88	9.3	4.4	8.29
<b>260</b>	1.36	7.1	2.0	6.51
<b>270</b>	0.95	5.0	1.3	5.14
<b>280</b>	0.96	3.1	0.8	3.13
<b>290</b>	1.28	3.3	0.6	3.05
<b>300</b>	1.39	3.3	0.5	3.03
<b>310</b>	1.43	3.6	0.5	3.29
<b>320</b>	1.52	4.1	0.5	3.73
<b>330</b>	1.61	5.5	0.7	4.93
<b>340</b>	2.09	6.9	1.0	6.15
<b>350</b>	2.21	7.2	1.6	6.41
<b>Totale</b>	<b>1.70</b>	<b>7.5</b>	<b>100%</b>	<b>6.71</b>

*Stazione anemometrica SM01: Tabella delle frequenze – h=30m*



*Stazione anemometrica SM01: Curva teorica di Weibull - h=28m*



Stazione anemometrica SM01: Profilo verticale di velocità (Wind Shear)

### 2.5.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza  $h$ ;

$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica SM01 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a 0,139.

### 2.6. Stazione anemometrica SMR01

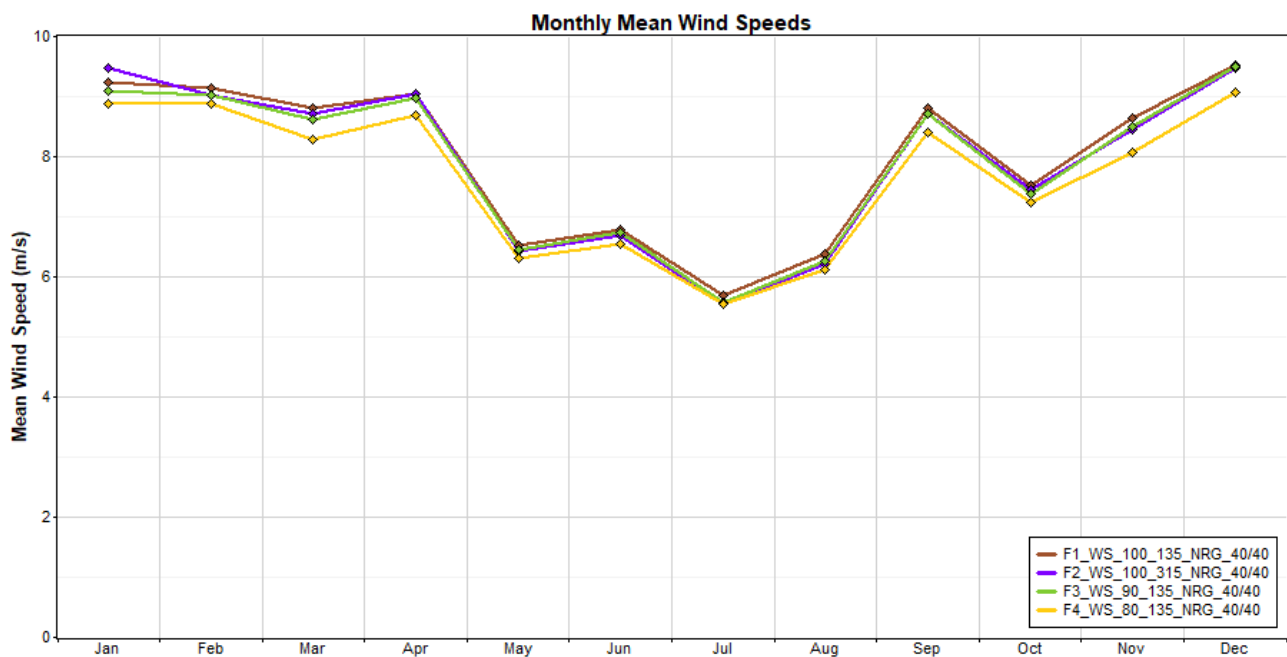
Il sistema di monitoraggio della stazione anemometrica SMR01 è costituito da 4 sensori di velocità del tipo NRG #40C Anemometer posti alle altezze di 100 metri, 90 m e 80 metri sls e da 2 sensori di direzione del tipo NRG #200M Wind Direction Vane, 10K posti all'altezza di 98 e 78 metri s.l.s, inoltre è presente un sensore di temperatura del tipo NRG T60 posto a 3 metri sls. La stazione anemometrica è stata installata il 30 Settembre 2021 ed è ancora attiva.

I dati acquisiti, che coprono un periodo di circa due anni, sono attualmente registrati per mezzo di un datalogger Orbit 360 della Kintech Engineering con frequenza di acquisizione 10 minuti. Poiché i dati raccolti coprono un periodo di tempo di circa due anni, si è deciso di



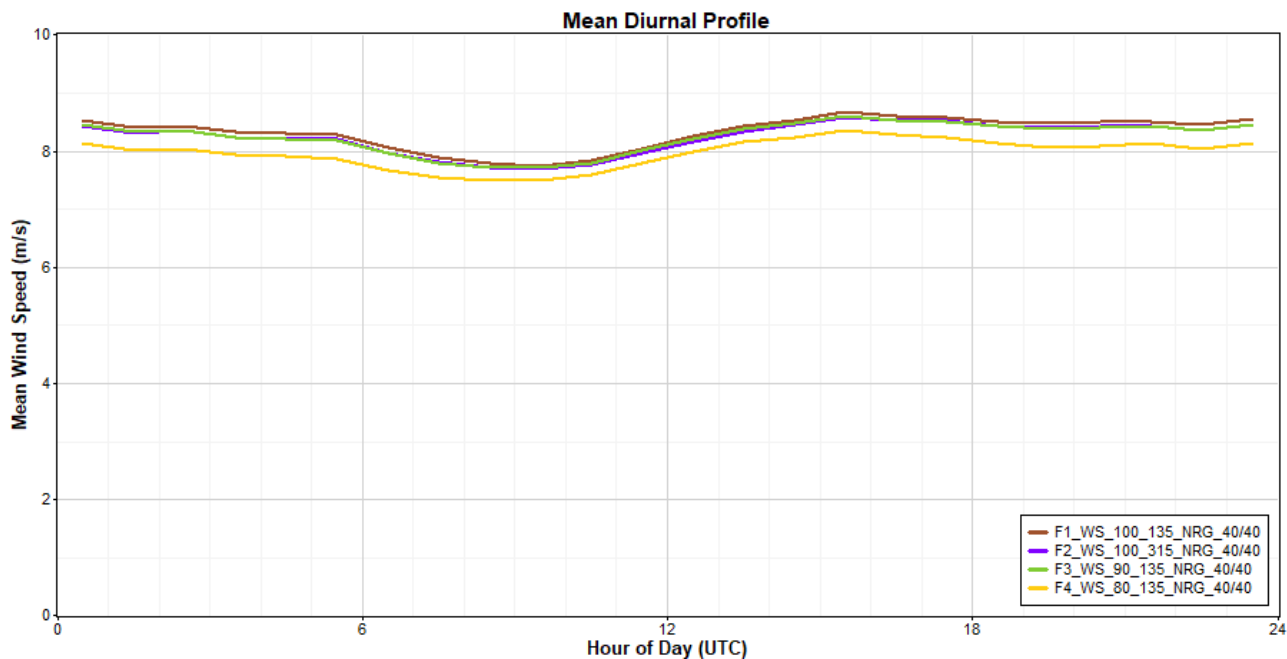
utilizzare la stazione anemometrica installata sempre nel territorio di San Marco denominata SM01 da 30 m, al fine di correlare e adattare i dati della SM01 con il processo del MCP (Measure Correlate and Predict), al fine di ridurre l'incertezza nelle stime della produzione di energia.

A seguito dell'analisi e validazione dei dati registrati, la disponibilità di dati validi è risultato pari a circa il 98.5% per l'anemometro a 100 m (135°), al 98.2% per l'anemometro a 100 m (315°), al 99.2% per l'anemometro a 90 m, al 98.9% per l'anemometro a 80 m, al 75.6% per il sensore di direzione a 98 metri e al 80.0% per il sensore di direzione a 78 m. La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite sono sintetizzati dalle tabelle e dai diagrammi riportati di seguito.



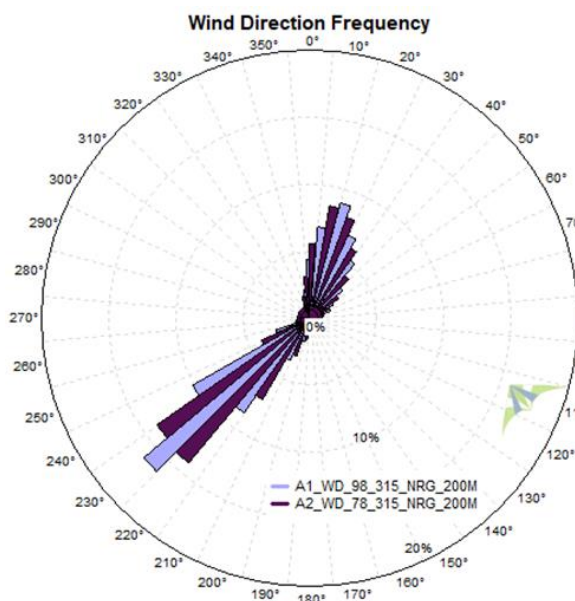
Stazione anemometrica SMR01: andamento mensile -  $h=100\text{ m}$ ,  $90\text{ m}$  e  $80\text{ m}$ .

# ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO

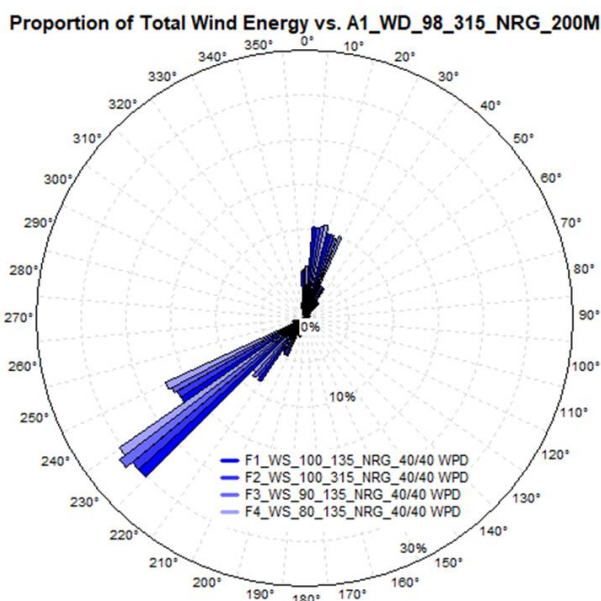


Stazione anemometrica SMR01: media giornaliera -  $h=100\text{ m}$ ,  $90\text{ m}$  e  $80\text{ m}$ .

**A**



**B**



Stazione anemometrica SMR01: Rosa dei venti - A) distribuzione per settori della frequenza del vento a  $98\text{ m}$  e  $78\text{ m}$  di altezza; B) distribuzione dell'energia disponibile a  $100$ ,  $90$  e  $80\text{ m}$ .

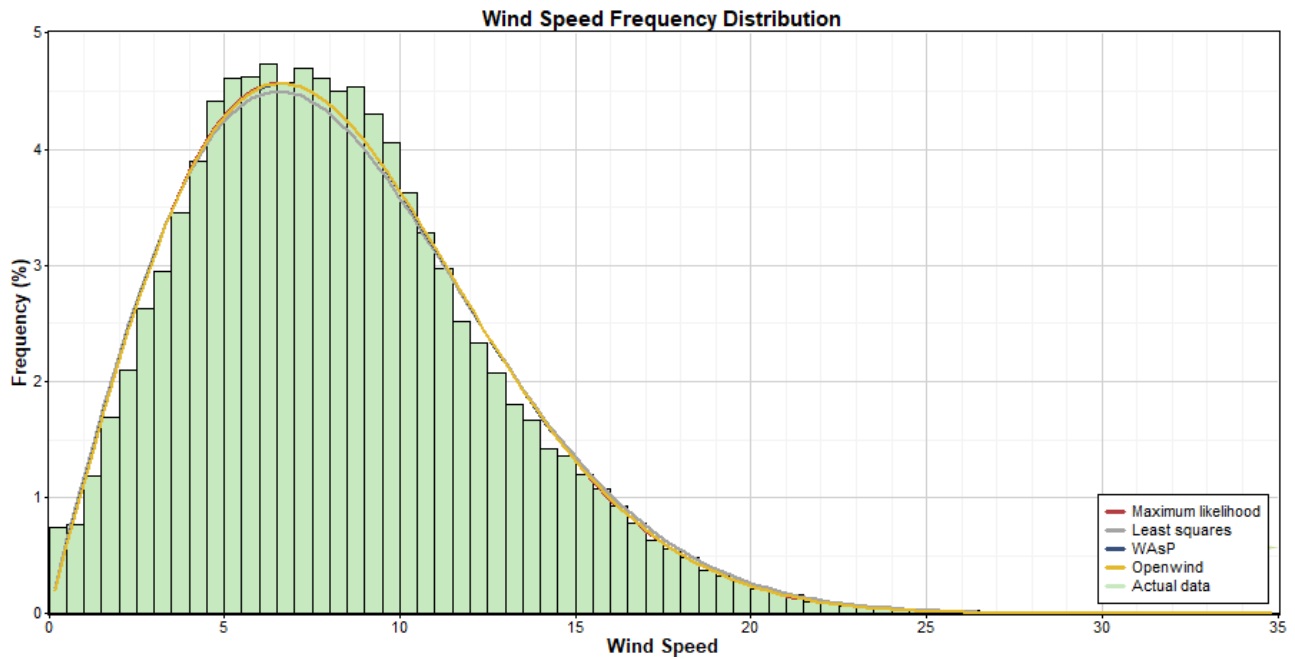
Dalla rappresentazione della rosa dei venti emerge il settore di vento prevalente per San Marco è quello a Sud-Ovest e più precisamente il settore a  $230^\circ$ . Nella tabella sotto è possibile consultare i parametri di Weibull  $k$ ,  $A$ , la  $V_{\text{media}}$  e frequenza del vento per ciascuno dei 36 settori in cui è stata suddivisa la rosa dei venti.

Direzione [°]	$k$ [-]	$A$ [m/s]	Frequenza [%]	$V_{\text{media}}$ [m/s]
0	2.48	10.3	4.3	9.11

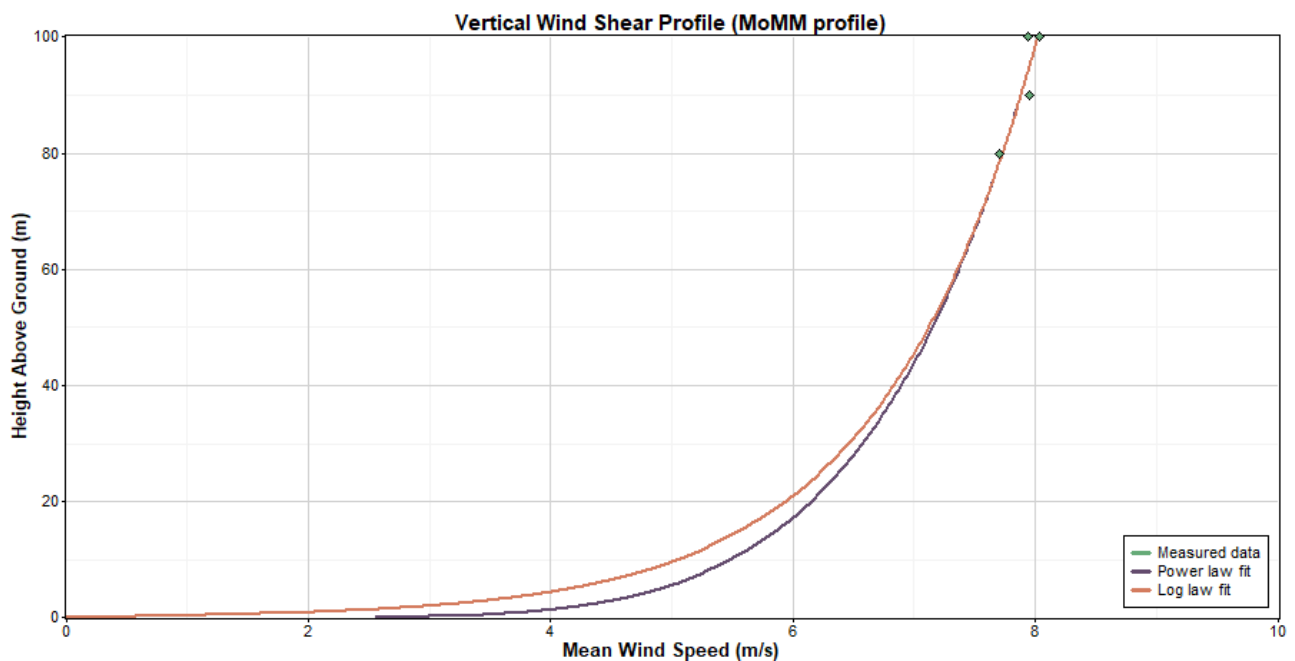
ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO  
DI UN PARCO EOLICO

10	2.27	10.7	6.6	9.48
20	2.62	10.1	8.8	8.94
30	2.75	8.3	6.7	7.43
40	2.26	7.3	5.2	6.48
50	2.27	6.7	3.2	5.97
60	2.04	6.8	2.0	6.02
70	1.97	7.4	1.6	6.55
80	1.89	6.7	1.2	5.96
90	1.60	6.2	0.9	5.52
100	1.85	5.2	0.7	4.64
110	1.91	4.4	0.4	3.88
120	1.79	4.0	0.4	3.57
130	1.79	4.2	0.3	3.74
140	1.61	3.6	0.3	3.18
150	1.35	3.4	0.3	3.09
160	1.65	4.0	0.4	3.58
170	1.75	4.8	0.5	4.25
180	1.51	5.5	0.6	4.98
190	1.63	7.1	1.2	6.37
200	1.57	8.9	2.0	7.97
210	1.42	8.6	3.7	7.82
220	2.17	9.4	8.7	8.30
230	<b>2.21</b>	<b>10.8</b>	<b>16.1</b>	<b>9.60</b>
240	2.22	11.0	10.6	9.74
250	1.84	7.3	3.0	6.50
260	1.62	5.0	1.2	4.44
270	1.73	4.4	1.0	3.91
280	2.15	4.3	0.8	3.83
290	1.96	4.7	0.9	4.15
300	2.28	4.6	0.7	4.07
310	2.50	4.7	0.7	4.13
320	2.19	4.0	0.7	3.58
330	1.37	5.4	0.8	4.92
340	1.79	7.7	1.3	6.86
350	2.19	8.9	2.1	7.85
<b>Totale</b>	<b>1.96</b>	<b>9.0</b>	<b>100%</b>	<b>7.90</b>

Stazione anemometrica SMR01: Tabella delle frequenze – h=100m



Stazione anemometrica SMR01: Curva teorica di Weibull  $h=100$  m



Stazione anemometrica SMR01: Profilo verticale di velocità (Wind Shear)

### 2.6.1. Calcolo del wind shear locale

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo per la stazione anemometrica SG06 ha consentito di stimare il coefficiente di Wind Shear locale; tale parametro caratterizza il profilo di strato limite atmosferico della velocità vento rispetto al suolo, come definito dalla formula riportata di seguito:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

essendo:

$\alpha$  = coefficiente di wind shear;

$V_h$  = velocità vento ad altezza  $h$ ;

$V_{ref}$  = velocità vento ad altezza di riferimento  $h=h_{ref}$ .

Nel caso specifico del progetto del Fortore, per la stazione anemometrica SMR01 è stato possibile calcolare il coefficiente di wind shear che è risultato essere pari a 0,165.

### 2.7. Densità media dell'aria

La densità dell'aria è definita come la massa di una quantità dell'aria divisa dal suo volume. Per calcolarla si fa riferimento alla seguente formula:

$$\rho = \frac{M p}{R T}$$

Con:

$\rho$  è la densità dell'aria [ $\text{kg/m}^3$ ];

$p$  è la pressione atmosferica aria secca [kPa];

$R$  Costante specifica per l'aria secca [ $8.314472 \text{ m}^3\text{kPaK}^{-1}\text{kmol}^{-1}$ ];

$M$  è la massa molare [ $\text{kg/kmol}$ ];

$T$  Temperature assoluta [K]

La densità media dell'aria è stata stimata circa **1.1  $\text{kg/m}^3$** , dall'analisi della variazione della temperatura e della pressione atmosferica per tutto il periodo di registrazione.

## 3. Analisi della producibilità

### 3.1. Layout d'impianto

Il progetto prevede l'installazione di diciassette aerogeneratori modello GE-158 da 6.1 MW, la cui disposizione attualmente prevista è riportata nella tabella sottostante.

Turbina	Comune	UTM – WGS84		Altitudine [m]
		Long. E [m]	Lat. N [m]	
<b>SGM01</b>	San Giorgio La Molara (BN)	496257	4573928	893
<b>SGM02</b>	San Giorgio La Molara (BN)	496720	4573710	884
<b>SGM04</b>	San Giorgio La Molara (BN)	496291	4572551	886
<b>SGM05</b>	San Giorgio La Molara (BN)	497390	4572721	869
<b>SGM06</b>	San Giorgio La Molara (BN)	496721	4572224	864
<b>MOL01</b>	Molinara (BN)	492629	4576416	904

**ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO  
DI UN PARCO EOLICO**

<b>MOL02</b>	Molinara (BN)	493052	4576013	908
<b>MOL03</b>	Molinara (BN)	493503	4575787	903
<b>MOL04</b>	Molinara (BN)	493578	4575236	924
<b>MOL07</b>	Molinara (BN)	493891	4574816	934
<b>BAS02</b>	Baselice (BN)	491805	4579879	953
<b>BAS03</b>	Baselice (BN)	491933	4579353	941
<b>FVF01</b>	Foiano (BN)	493310	4578420	932
<b>SMC01</b>	San Marco Dei Cavoti (BN)	491751	4578670	917
<b>SMC02</b>	San Marco Dei Cavoti (BN)	492240	4578289	990
<b>SMC04</b>	San Marco Dei Cavoti (BN)	492400	4577817	981
<b>SMC05</b>	San Marco Dei Cavoti (BN)	492741	4577267	921

*Coordinate geografiche puntuali turbine d'impianto*

<b>Turbina</b>	<b>Nome tipo turbina</b>	<b>Altezza mozzo (m)</b>	<b>Diametro rotorico (m)</b>	<b>Capacità (kW)</b>
<b>SGM01</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SGM02</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SGM04</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SGM05</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SGM06</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>MOL01</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>MOL02</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>MOL03</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>MOL04</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>MOL07</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>BAS02</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>BAS03</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>FVF01</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SMC01</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SMC02</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SMC04</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100
<b>SMC05</b>	General Electric GE158	101.0	158.0	6100

*Caratteristiche degli aerogeneratori secondo il layout di progetto.*

### 3.2. Turbina e curva di potenza

E' stato individuato un tipo di turbina per il layout del progetto rifacimento del Fortore che ha le seguenti specifiche, riportate nella Tabella di seguito:

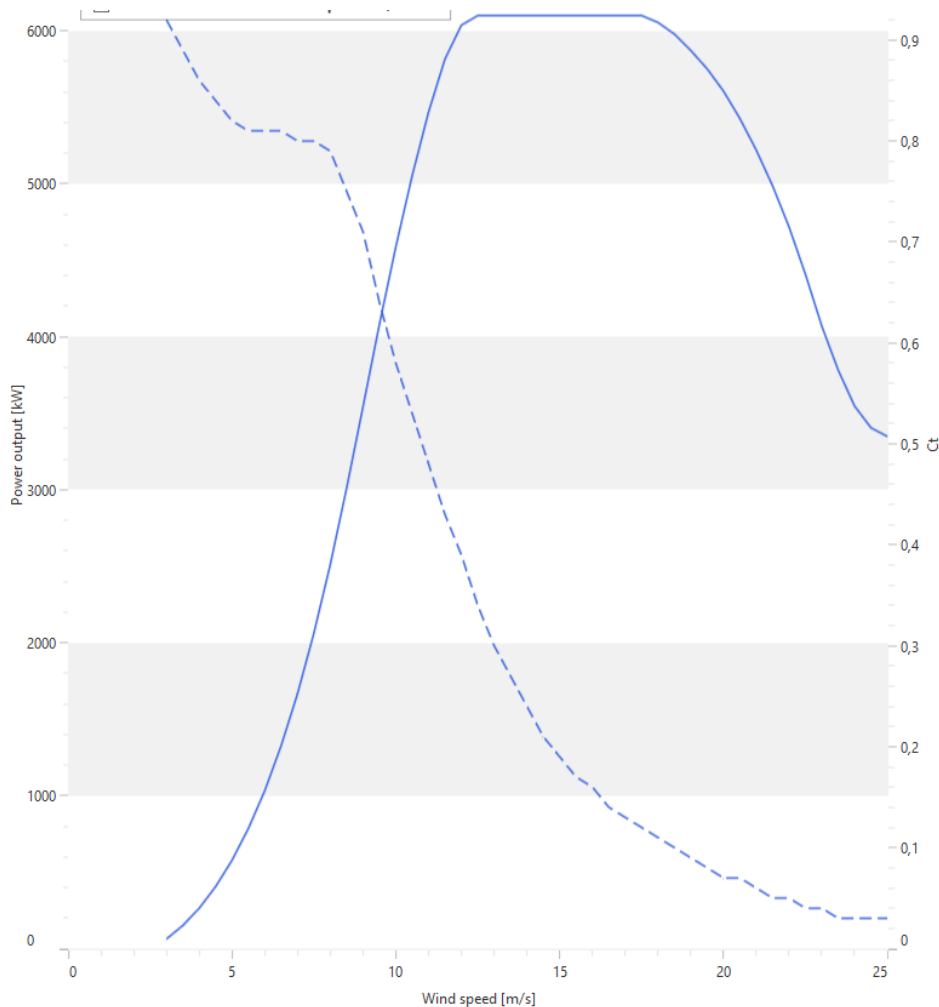
<b>Modello Turbina</b>	<b>Potenza nominale (kW)</b>	<b>Altezza mozzo (m)</b>	<b>Diametro del rotore (m)</b>	<b>Densità dell'aria della Power curve [kg/m<sup>3</sup>]</b>



<b>GE158</b>	6100.0	101.0	158.0	1.100
--------------	--------	-------	-------	-------

*Specifiche tecniche General Electric GE158-6.1MW.*

Di seguito, in Figura la curva di potenza relativa alla specifica turbina e la tabella che ne riporta i valori specifici:



*Grafico Power Curve General Electric GE158 (6.1 MW)*

**ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO  
DI UN PARCO EOLICO**

<i>Velocità del vento ad altezza mozzo (m/s)</i>	<i>Potenza elettrica (kW)</i>	<i>Coefficiente di spinta (-)</i>
3,0	63,0	0,920
3,5	151,0	0,890
4,0	264,0	0,860
4,5	405,0	0,840
5,0	577,0	0,820
5,5	785,0	0,810
6,0	1032,0	0,810
6,5	1326,0	0,810
7,0	1666,0	0,800
7,5	2063,0	0,800
8,0	2511,0	0,790
8,5	3012,0	0,750
9,0	3544,0	0,710
9,5	4082,0	0,640
10,0	4588,0	0,580
10,5	5054,0	0,530
11,0	5470,0	0,480
11,5	5816,0	0,430
12,0	6037,0	0,390
12,5	6100,0	0,340
13,0	6100,0	0,300
13,5	6100,0	0,270
14,0	6100,0	0,240
14,5	6100,0	0,210
15,0	6100,0	0,190
15,5	6100,0	0,170
16,0	6100,0	0,160
16,5	6100,0	0,140
17,0	6100,0	0,130
17,5	6100,0	0,120
18,0	6055,0	0,110
18,5	5979,0	0,100
19,0	5872,0	0,090
19,5	5752,0	0,080
20,0	5606,0	0,070
20,5	5427,0	0,070
21,0	5220,0	0,060
21,5	4986,0	0,050
22,0	4718,0	0,050
22,5	4409,0	0,040
23,0	4070,0	0,040
23,5	3782,0	0,030
24,0	3547,0	0,030
24,5	3405,0	0,030
25,0	3348,0	0,030

*Tabella Power Curve General Electric GE158 (6.1 MW)*

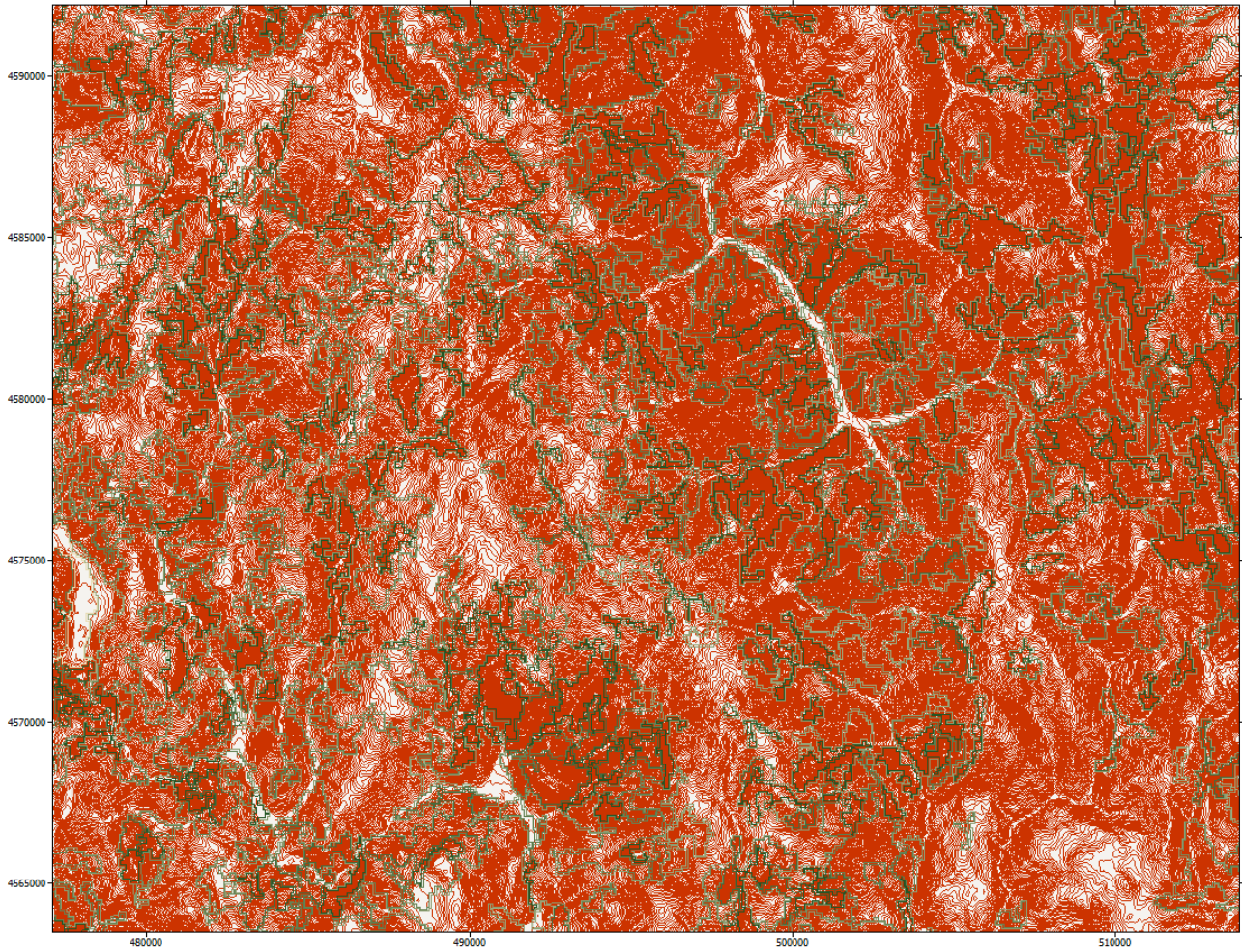
### 3.3. *Modello orografico digitale*

La lunghezza di rugosità è probabilmente il parametro più importante per prevedere il comportamento del vento. Sfortunatamente è anche uno dei più difficile da definire con un ragionevole livello di attendibilità. Esistono vari modi per determinare il valore di  $Z_0$ . Un approccio molto comune consiste nell'usare il proprio giudizio ed eseguire confronti con siti per cui  $Z_0$  è stato determinato tramite misure. In Tabella è riportato l'elenco delle descrizioni del tipo di terreno e i corrispondenti valori di  $Z_0$  e  $\alpha$ .

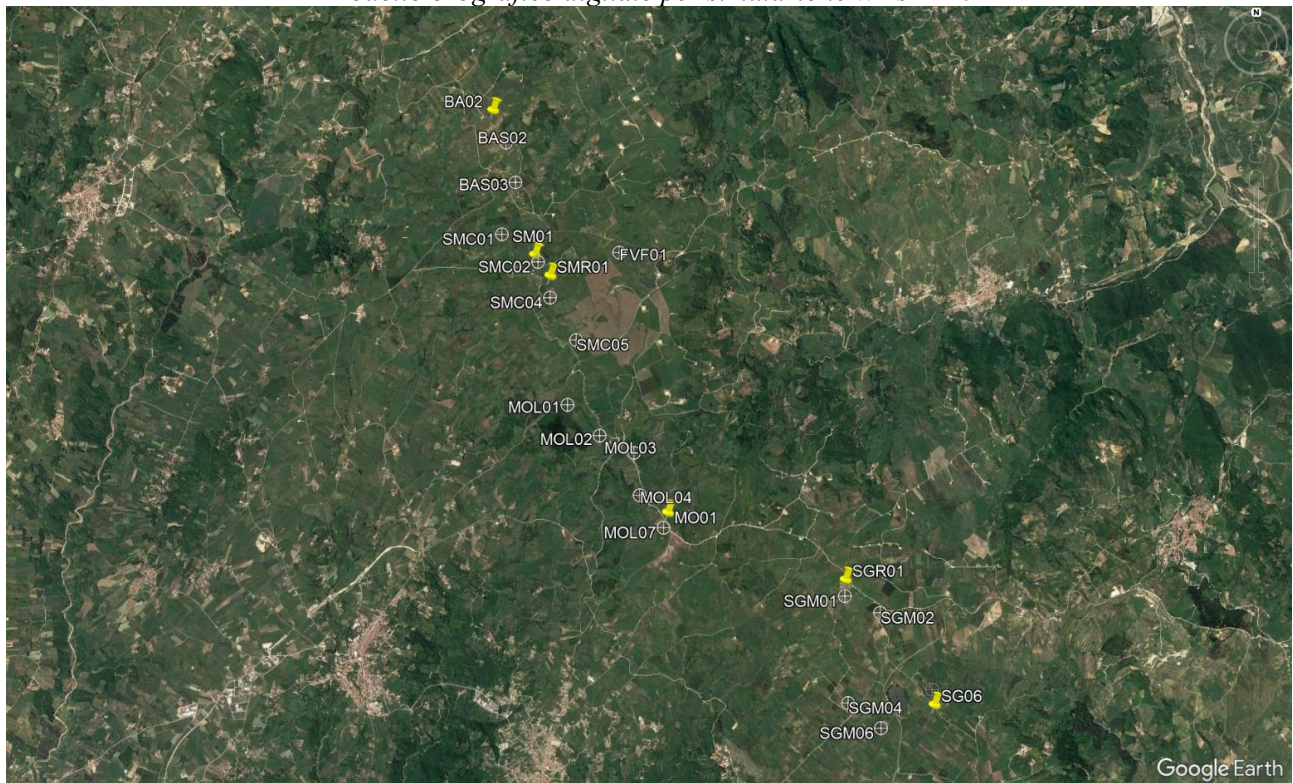
<b><math>Z_0</math> (m)</b>	<b><math>\alpha</math> (Classe)</b>	<b>Descrizione: tipo di terreno</b>
<b>0.00001</b>	---	Fango, ghiaccio
<b>0.0001</b>	---	Mare aperto senza onde
<b>0.0003</b>	0.10	Sabbia
<b>0.001</b>	---	Superficie innevata
<b>0.005</b>	0.13	Terreno spoglio
<b>0.01</b>	---	Erba bassa, steppa
<b>0.03</b>	---	Maggese
<b>0.05</b>	0.19	Terreno coltivato aperto
<b>0.3</b>	---	Ripari
<b>0.5</b>	---	Foreste e boschi
<b>0.8</b>	---	Zona suburbana

*Caratterizzazione della rugosità del terreno.*



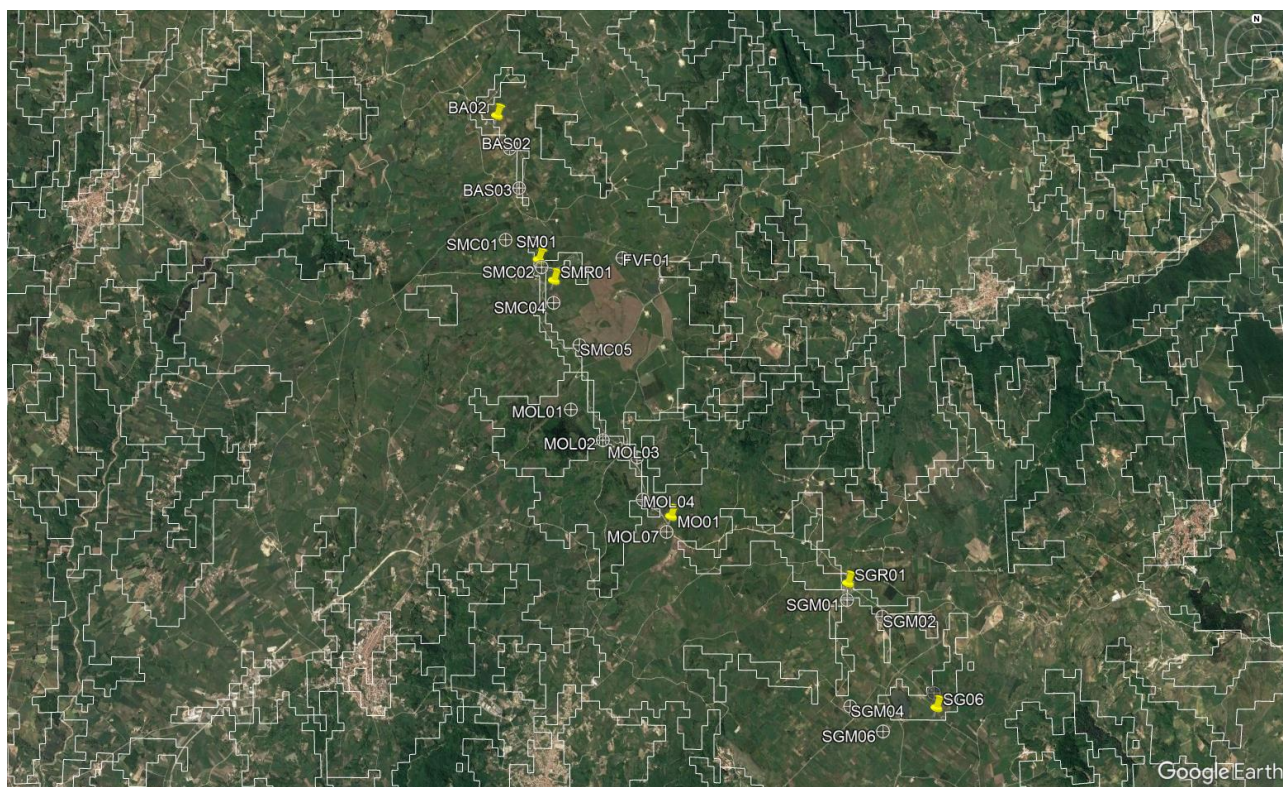


*Modello orografico digitale per simulazione WASP 12.*



*Modello mappa satellitare con posizioni turbine e torri anemometriche.*



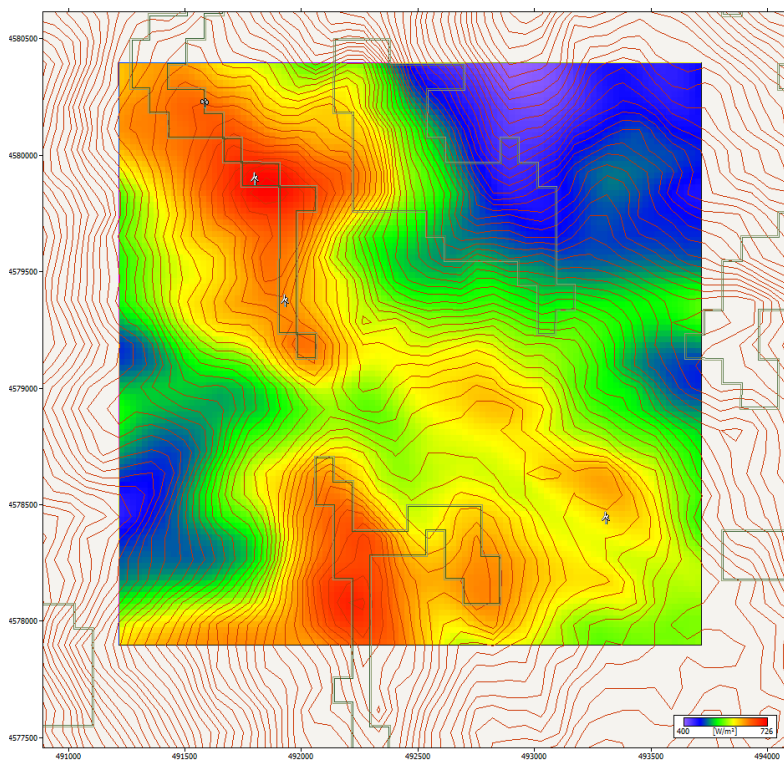


*Modello mappa satellitare rugosità con posizioni turbine e torri anemometriche.*

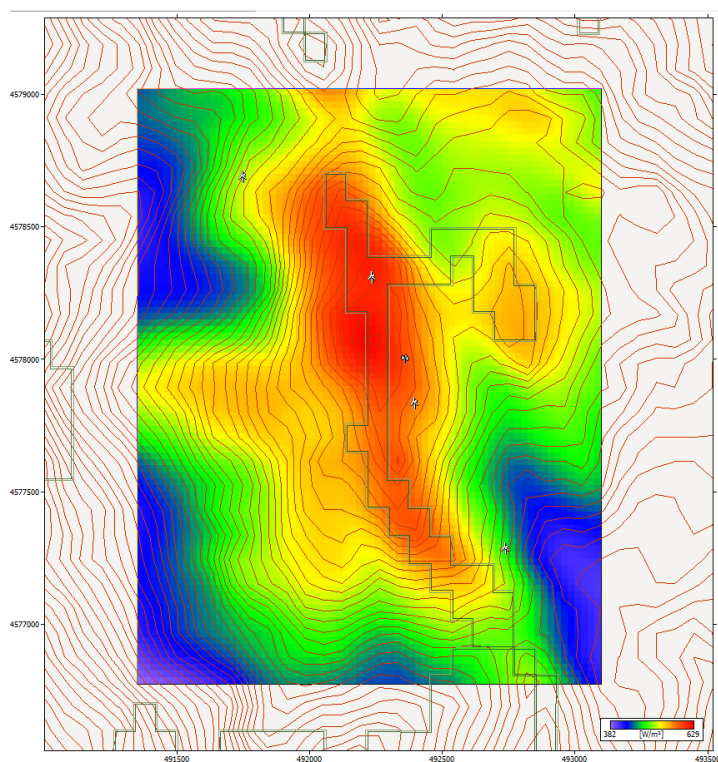
### 3.4. *Mapa di ventosità*

A partire dai dati registrati dalle stazioni anemometriche di BA02, SM01, SMR01, MO01, SGR01 e di SG06 descritte in precedenza è stata estrapolata la mappa di ventosità del sito all'altezza mozzo ipotizzata di 101 m sls attraverso l'applicazione WAsP 12. L'area di intervento è stata suddivisa in un'area monitorata dalle stazioni anemometriche. La densità dell'aria del sito è stata stimata in  $1.1 \text{ kg/m}^3$  a 980 m sls nell'area di interesse.

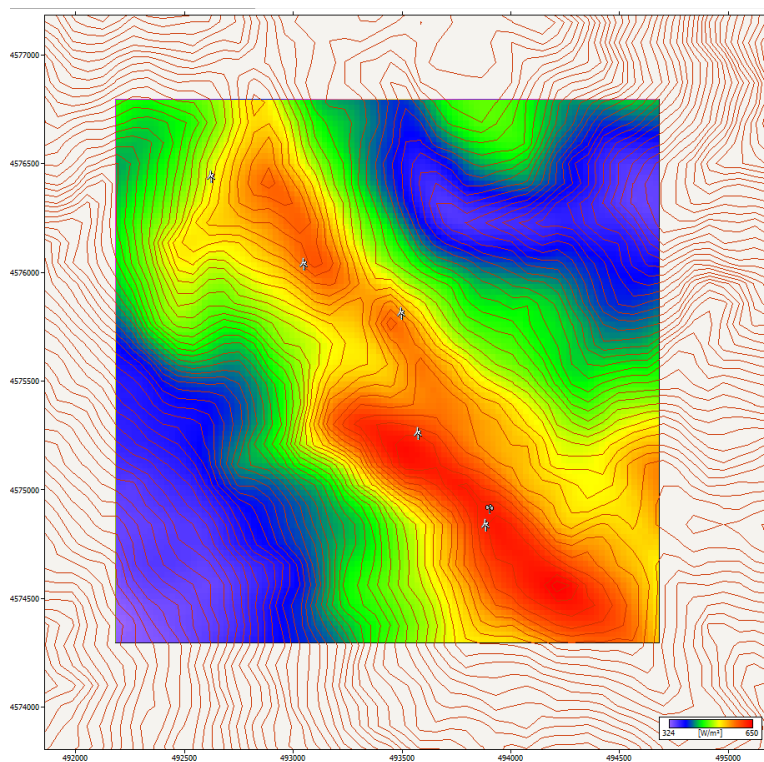
# ANALISI ANEMOMETRICA ED ENERGETICA PER IL POTENZIAMENTO E RIFACIMENTO DI UN PARCO EOLICO



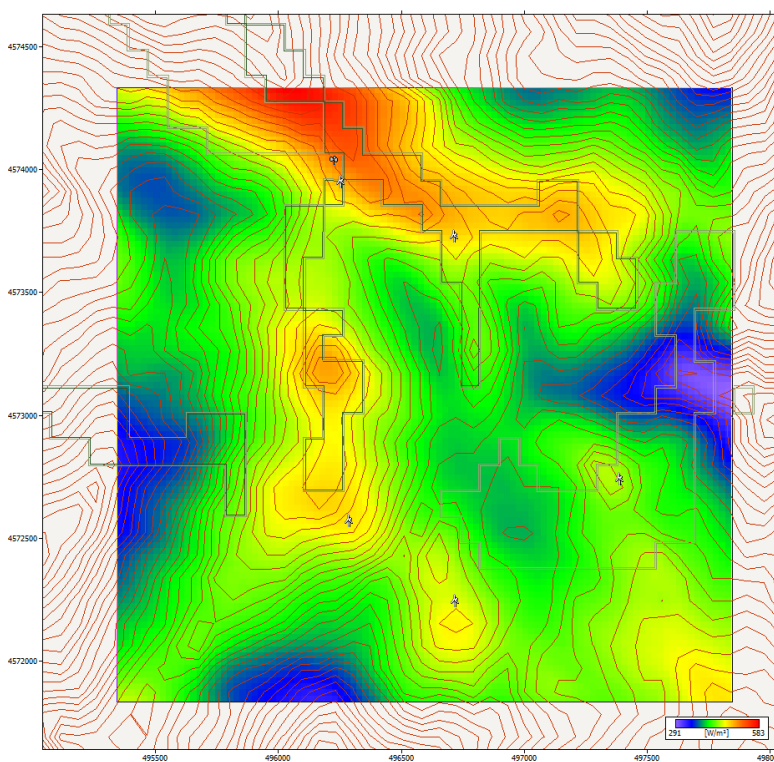
*Mapa energetica a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di Baselice-Foiano*



*Mapa energetica a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di San Marco Dei Cavoti*

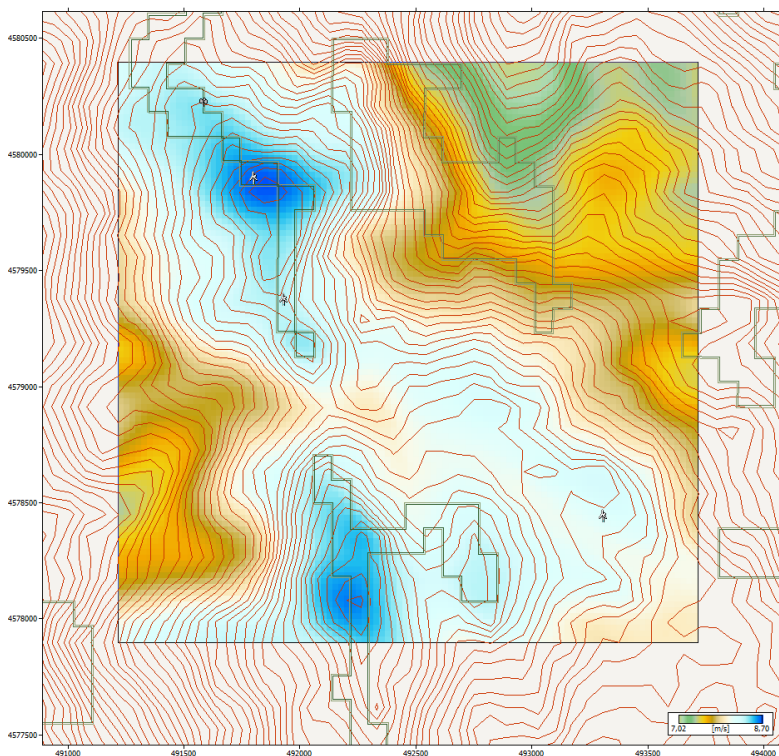


*Mapa energetica a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di Molinara*

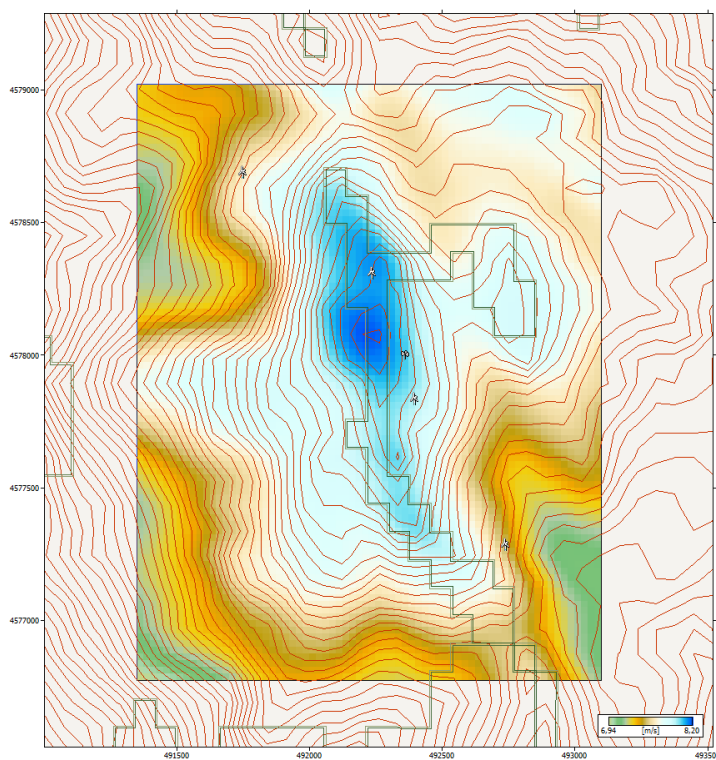


*Mapa energetica a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di San Giorgio La Molara*



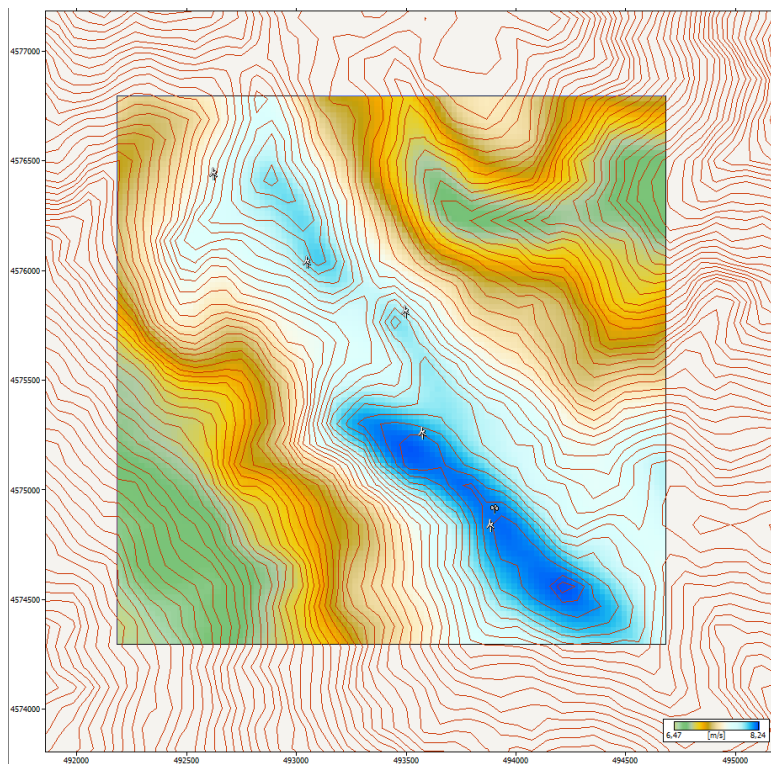


*Mappa di ventosità a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di Baselice*

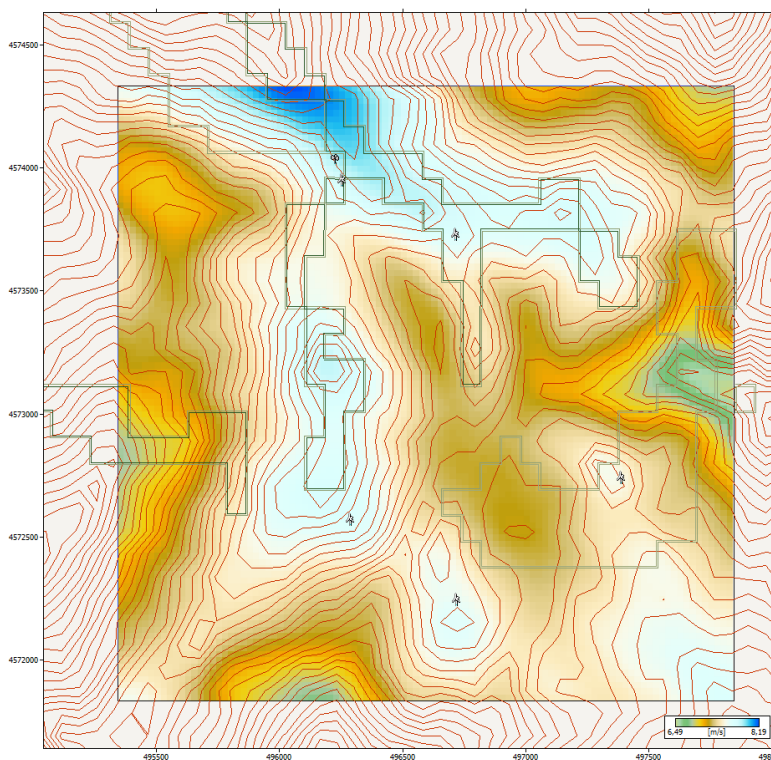


*Mappa di ventosità a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di San Marco Dei Cavoti SMR01*





*Mappa di ventosità a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di Molinara*



*Mappa di ventosità a 101 m sls per gli aerogeneratori nel comune di San Giorgio La Molara.*

### 3.5. Risultati dell'analisi anemologica

La stima della resa energetica d'impianto è stata eseguita calcolando la producibilità per ciascuna delle 17 turbine costituenti l'impianto.

La velocità vento su ogni posizione è stata calcolata attraverso l'applicazione WAsP 12 dall'atlante di vento estrapolato dalle acquisizioni delle stazioni anemometriche SG06, SGR01, MO01, BA02, SMR01 e SM01 descritte nei paragrafi precedenti e attraverso l'uso del software WindFarmer 4.0.

Per il calcolo della resa energetica, al netto delle perdite per effetto scia da interferenza aerodinamica, è stata applicata, secondo un modello conservativo di scia, una costante  $k_w$  di decadimento (wake decay constant) pari a 0.075.

L'osservazione del prospetto sintetico della tabella sottostante evidenzia che l'impianto, secondo la configurazione prevista, attende una producibilità complessiva lorda di 382.23 GWh/anno, tale dato di resa energetica corrisponde a circa 3686 ore equivalenti medie annue unitarie di funzionamento a potenza nominale, questi risultati dovranno essere decurtati delle perdite applicate sul progetto.

ID turbina	Velocità media del vento libero (m/s)	Velocità media del vento (m/s)	Resa Ideale (MWh/yr)	Resa Lorda (MWh/yr)	Resa Netta (MWh/yr) P50
<b>SGM01</b>	7,87	7,57	23129	22654	19298
<b>SGM02</b>	7,76	7,61	23129	22153	19661
<b>SGM04</b>	7,77	7,43	23129	22217	18733
<b>SGM05</b>	7,62	7,39	23129	21537	18578
<b>SGM06</b>	7,70	7,24	23129	21920	17916
<b>MOL01</b>	7,54	7,08	23076	20789	16958
<b>MOL02</b>	7,94	7,70	23076	22439	19496
<b>MOL03</b>	7,88	7,68	23076	22240	19490
<b>MOL04</b>	8,12	7,98	23076	23103	20547
<b>MOL05</b>	8,11	7,98	23076	23028	20539
<b>BAS02</b>	8,68	8,35	24017	24670	21242
<b>BAS03</b>	8,38	7,96	24017	23764	19944
<b>FVF01</b>	7,91	7,65	24017	22129	19119
<b>SMC01</b>	7,79	7,43	23518	21722	18294
<b>SMC02</b>	8,31	7,96	23518	23786	20195
<b>SMC04</b>	8,12	7,65	23518	23060	18878
<b>SMC05</b>	7,64	7,27	23518	21094	17604

*Producibilità media annua di centrale*

### 3.6. Incertezza GE158

Il passo successivo riguarda la valutazione delle differenti cause di incertezza considerate. Esse sono aspetti afferenti a:

- Misurazione del vento;
- Elaborazione dei dati;
- Calcolo della produzione energetica

In particolare, per quanto concerne la misurazione del vento, si sono considerati i seguenti contributi di incertezza, intesa come deviazione standard della velocità del vento:

- *Calibrazione*: si riferisce all'incertezza nel processo di calibrazione e alle differenze tra l'anemometro di prova e l'anemometro di produzione. A seconda dell'anemometro, questa incertezza può essere dello 0,1–2%, gli anemometri utilizzati sono stati calibrati (in relazione ai recenti standard di MEASNET sia per i sensori NRG che Vector)
- *Tipologia degli anemometri*: la tipologia di anemometri è conforme ai più elevati standard anemologici con caratteristica lineare e di classe elevata;
- *Dynamic Overspeeding*. Gli anemometri a coppette sono suscettibili nel caso di velocità eccessiva in presenza di turbolenza. L'eccesso di velocità è un fenomeno per cui l'anemometro accelera più rapidamente di fronte a una maggiore velocità del vento e non rallenta così rapidamente di fronte a una velocità del vento inferiore. L'incertezza è stata determinata in circa lo 0,3%.
- *Ombre della torre, bracci ed effetti di montaggio*. L'ombra della torre provoca un bias negativo; una stima della distorsione è -1,5%. I bracci più lunghi possono ridurre questa distorsione; tuttavia, i bracci stessi disturbano il flusso d'aria. I bracci lunghi possono anche far deviare l'anemometro dalla posizione verticale con conseguente errore di misurazione; una stima dell'incertezza è 0,5%.

Per quanto riguarda le cause di incertezza legate all'analisi dei dati, occorre citare:

- *Periodo di misura e filtraggio*: si è inclusa in questa voce l'incertezza relativa al periodo di misura (17 anni), e dei vari malfunzionamenti e intervalli di dati mancanti. Il contributo di incertezza è tuttavia significativamente ridotto, mediante opportune procedure di pesatura.
- *Variabilità della media annuale*: parametro indicativo dell'incertezza legata alle fluttuazioni statistiche della media annuale della velocità del vento, calcolate sulla base di misure storiche disponibili in località prossime al sito.

Infine, sono state considerate le incertezze relative al calcolo della producibilità energetica:

- *Curva di potenza*: parametro che tiene conto dell'incertezza legata alla variabilità della curva di potenza rispetto a quanto certificato dai costruttori, anche in relazione alla complessità orografica del territorio.
- *Modelli di scia*: l'interazione aerodinamica tra aerogeneratori induce dei deficit di velocità legati alle scie, delle quali si tiene conto attraverso modelli analitici, che presentano valori tipici di incertezza di 0.05%.

<i>Incertezza storica dalla sorgente</i>	<i>Tipo d'incertezza</i>	<i>Errore Std [%] dell'effetto</i>	<i>Sensibilità della Resa Netta [%]</i>	<i>Incertezza Resa Netta [%]</i>
<b>Variabilità storica della velocità del vento</b>	Velocità del Vento	6,0	146	<b>8,8</b>
<b>Anemometrica</b>	Velocità del Vento	2,00	146	<b>2,93</b>
<b>Modello topografico</b>	Topografia	4,0	3.7	<b>0,149</b>
<b>Modello perdita di scia</b>	Modello Scia	15,0	2.62	<b>0,39</b>
<b>Correlazione</b>	Velocità del Vento	0	146	<b>0</b>
<b>Curva di Potenza</b>	Resa Energetica	4,0	100,00	<b>4,0</b>
<b>Estrapolazione Verticale</b>	Resa Energetica	0	100,00	<b>0</b>
<b>Estrapolazione orizzontale</b>	Resa Energetica	0	100,00	<b>0</b>
<b>Incertezza storica totale [%]</b>				<b>10,1</b>

*Incertezze storiche*

<i>Incertezza per il periodo futuro</i>	<i>1 [anno]</i>	<i>10 [anni]</i>	<i>20 [anni]</i>
<b>Variabilità della velocità del vento [%]</b>	6,0	1,90	<b>1,34</b>
<b>Sensibilità [%]</b>	146	146	<b>146</b>
<b>Incertezza futura [%]</b>	8,8	2,78	<b>1,96</b>
<b>Incertezza storica [%]</b>	10,1	10,1	<b>10,1</b>
<b>Incertezza totale [%]</b>	<b>13,4</b>	<b>10,5</b>	<b>10,3</b>

*Incertezze della stima centrale*

### 3.7. *Producibilità netta di impianto*

Si è giunti alla stima della producibilità lorda media degli aerogeneratori dell'impianto. E' possibile esprimere lo stesso valore sottoforma di producibilità lorda specifica, ovvero riferita ad ogni MW installato:

$$\text{Formula: } \text{Prod}_{lorda\_WTG} / \text{Pot}_{nom\_WTG} = \text{Prod}_{lorda\_specif}$$

<i>Turbina</i>	<i>Prod<sub>lorda_specif</sub> MWh/MW</i>
<i>GE 158</i>	<b>3686</b>

La produzione netta annuale (AEP) calcolata nel precedente paragrafo per il layout di progetto considerato corrisponde ad una produzione attesa tale che la produzione reale è superiore o uguale ad essa con una probabilità del 50%. Come descritto, tale valore è stato calcolato sulla base dei seguenti elementi:

- dati del vento disponibili

- orografia e mappa di rugosità del terreno
- specifiche tecniche e curve di potenza degli aerogeneratori considerati
- perdite per effetto scia, per disponibilità macchine e perdite tecniche generali

Per ottenere il valore netto della produzione specifica prevista, è necessario considerare tutte le perdite:

$$((1 - P_{es}) \cdot (1 - P_{el}) \cdot (1 - P_{ind}) \cdot (1 - P_v)) - 1$$

Con

$P_{es}$  = perdite per effetto scia

$P_{el}$  = perdite elettriche stimate

$P_{ind}$  = perdite per indisponibilità turbine stimate

$P_v$  = perdite varie che comprendono lavori di manutenzione alla sottostazione (0,2%), ghiaccio e depositi sulle pale (0,2%) e topografia (2,0%)

<b><i>Turbina</i></b>	<b><i>Totale Perdite</i></b>	<b><i>P<sub>es</sub></i></b>	<b><i>P<sub>el</sub></i></b>	<b><i>P<sub>ind</sub></i></b>	<b><i>P<sub>v</sub></i></b>
<i>GE158</i>	<i>14.6 %</i>	<i>6.2 %</i>	<i>3.0%</i>	<i>3.0%</i>	<i>2.4%</i>

Da ciò si ricava :

<b><i>Turbina</i></b>	<b><i>Prod<sub>nettaP50</sub> MWh/MW</i></b>
<i>GE158</i>	<i>3148</i>

Moltiplicando questo risultato per la potenza nominale dell'impianto si ottiene il risultato finale cercato, ossia la produzione netta totale:

$$Prod_{nettaTOT} = Prod_{netta_{specif}} \cdot P_{nomParco}$$

Ossia

<b><i>Turbina</i></b>	<b><i>Prod<sub>nettaP50</sub> MWh/anno</i></b>
<i>GE158</i>	<i>326492</i>

Sulla base dell'analisi di incertezza (come descritto nel paragrafo 3.8.2) effettuata su questi parametri è stata quindi calcolata la produzione energetica corrispondente ad una produzione attesa tale che la produzione reale è superiore o uguale con una probabilità rispettivamente del 75% e 90%.

Ricapitolando, le incertezze cui si fa riferimento sono legate sostanzialmente ai seguenti aspetti:

- Caratteristiche dei sensori utilizzati
- Calibrazione degli anemometri

- Caratteristiche della stazione di misura e montaggio
- Filtraggio e validazione dei dati
- Periodo di misura disponibile
- Correlazione dei dati vento
- Incertezze dell'algoritmo di calcolo
- Valutazione delle perdite di scia
- Incertezze sulle curve di potenza

Si ottiene dunque:

<i>Turbina</i>	<i>Prod<sub>nettaP75</sub></i> <i>MWh/MW</i>	<i>Prod<sub>nettaP90</sub></i> <i>MWh/MW</i>
<i>GE158</i>	<b>2929</b>	<b>2728</b>

## 4. Bibliografia

- [1] Atlante Europeo del Vento – pubblicato per la Commissione Europea, Di rettorato Generale per la Scienza, la Ricerca e lo Sviluppo, dal Riso National Laboratori, Roskilde, Danimarca.
- [2] Recommended practices for wind turbine testing “11. Wind speed measurement and use of cup anemometry”, 1° Edizione 1999, International Energy Agency Annex XI.
- [3] Ed. Luc Rademakers e Ray Hunter, “European Wind Turbine Standards – Project Results”, Relazione n. EUR 16898EN – relazione definitiva del contratto DG XII n. JOU2-CT93-0387, 1996, ISBN 92-827-7948-3.
- [4] Michael Brower, Wind Resource Assessment A Practical Guide to Developing a Wind Project.
- [5] Pramod Jain, Wind Energy Engineering.