




COMUNE di BRINDISI, MESAGNE E CELLINO SAN MARCO

<p>Proponente</p>	<p><b>EN. IT SRL</b> Verona (VR), Via Francia 21/C, 37135 C.F. /IVA 04642500237 Telefono 0972 237126 - E-mail: amministrazione@enitgroup.eu</p>				
<p>Progettazione</p>	<p><b>Ing. Fabio Domenico Amico</b> Via Milazzo, 17 - 40121 Bologna E-Mail: f.amico@readvisor.eu</p>  	<p>Studio Ambientali e Paesaggistico</p>	<p><b>A TECH srl</b> Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it</p>  		
<p>Studio Incidenza Ambientale Flora fauna ed ecosistema</p>	<p><b>A TECH srl</b> Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it</p>  	<p>Studio Acustico</p>	<p><b>A TECH srl</b> Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it</p>  		
<p>Studio Archeologico</p>		<p>Studio idraulico</p>	<p><b>A TECH srl</b> Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari E-Mail: atechsrl@libero.it</p>  		
<p>Studio Geologico</p>	<p><b>dott. geol. Michele VALERIO</b> Residence "Palium" - C.da Auricarro 70027 Palo del Colle (BA) E-Mail: va.michele@libero.it</p> 				
<p>Opera</p>	<p><b>Impianto Eolico composto da n.7 aerogeneratori per una potenza complessiva di 42 MW nei Comuni di Brindisi, Mesagne e Cellino San Marco (BR)</b></p>				
<p>Oggetto</p>	<p>Folder: Nome Elaborato: <b>W389EX4_Relazione di studio anemologico</b> Descrizione Elaborato: <b>Relazione di studio anemologico</b></p>				
<p>00</p>	<p>Dicembre 2019</p>	<p>Emissione per progetto definitivo</p>	<p>S.C.</p>	<p>S.S.</p>	<p>F.D.</p>
<p>Rev.</p>	<p>Data</p>	<p>Oggetto della revisione</p>	<p>Elaborazione</p>	<p>Verifica</p>	<p>Approvazione</p>
<p>Scala:</p>	<p>Codice Pratica <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">W389EX4</span></p>				
<p>Formato:</p>					

## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ANEMOMETRIA</b>	<b>3</b>
2.1	Stazione anemometrica - 6179	3
<b>3</b>	<b>CENTRALE EOLICA</b>	<b>13</b>
3.1	Configurazione d'impianto	13
3.2	Aerogeneratore di potenza unitaria 6.0 MW	13
<b>4</b>	<b>ANALISI DI PRODUCIBILITÀ</b>	<b>15</b>
4.1	Modello orografico digitale	15
4.2	Mappatura del campo di vento	16
4.3	Risultati dell'analisi anemologica (Resa energetica di breve periodo)	17
4.4	Producibilità netta di impianto	17

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 2

## 1 PREMESSA

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 diverse 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 per un intero anno solare 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<sup>(1)</sup>. 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 macchine, 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.

I risultati ottenuti attraverso la simulazione sono infine oggetto di elaborazioni "post-processing" che, sulla base di valutazioni in merito a:

- livello di completezza e di attendibilità dei dati di input,
  - limiti del modello di calcolo utilizzato,
  - presenza di perdite imputabili ad ulteriori fattori esterni,
  - proiezione sul lungo periodo (nel caso in cui ci fosse la disponibilità di dati acquisiti in anni passati, per periodi significativi, da altre stazioni anemometriche installate in zona),
- permettono di definire il livello di incertezza sulle previsioni di resa energetica e quindi di fissare gli adeguati margini di sicurezza, più o meno conservativi in relazione al rischio che l'investitore è in grado di assumere.

(1) WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program), codice di simulazione anemologica sviluppato in Danimarca presso il RISØ National Laboratory, Centro di prova e certificazione per turbine eoliche.

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 3

## 2 ANEMOMETRIA

Il sito è stato monitorato nel tempo da due stazioni anemometriche, i cui dati sono stati forniti dal cliente insieme alla documentazione di avvenuta installazione, nonché certificati di calibrazione e quanto ritenuto necessario alla corretta caratterizzazione del palo di misurazione.

### 2.1 Stazione anemometrica - 6179

La disponibilità dei dati della stazione anemometrica, denominata “San Pietro Vernotico2”, con codice 6179 è dal 27 gennaio 2010, l'ultimo dato disponibile rilevato è del 12 dicembre 2013, con un buco di dati da fine ottobre 2011 a fine maggio 2013.

I dati registrati, nei periodi in cui l'anemometro ha funzionato, hanno una buona disponibilità, tuttavia nell'intero periodo analizzato la disponibilità è pari al 63% degli eventi complessivi registrabili sia per quanto riguarda la velocità che per la direzione.

Il sistema di monitoraggio, al top della configurazione, è costituito da tre sensori di velocità posti alle altezze di 20, 30, 50 m sls e due sensori di direzione a 20 e 50 m sls. I dati sono stati registrati con una frequenza di acquisizione pari a 10 minuti.

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

L'analisi dei dati evidenzia la presenza di una direzione principale di provenienza del vento. Le distribuzioni delle frequenze di occorrenza, relative alla coppia di sensori alla massima altezza, sono state riportate sui relativi diagrammi azimutali (**Rosa dei Venti**).

La disponibilità di acquisizioni a diverse altezze dal suolo ha consentito, inoltre, 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:

$$V_{h0} = V_{h_{ref}} * (h_0/h_{ref})^\alpha$$

essendo:


$\alpha$  = *coefficiente di wind shear*;

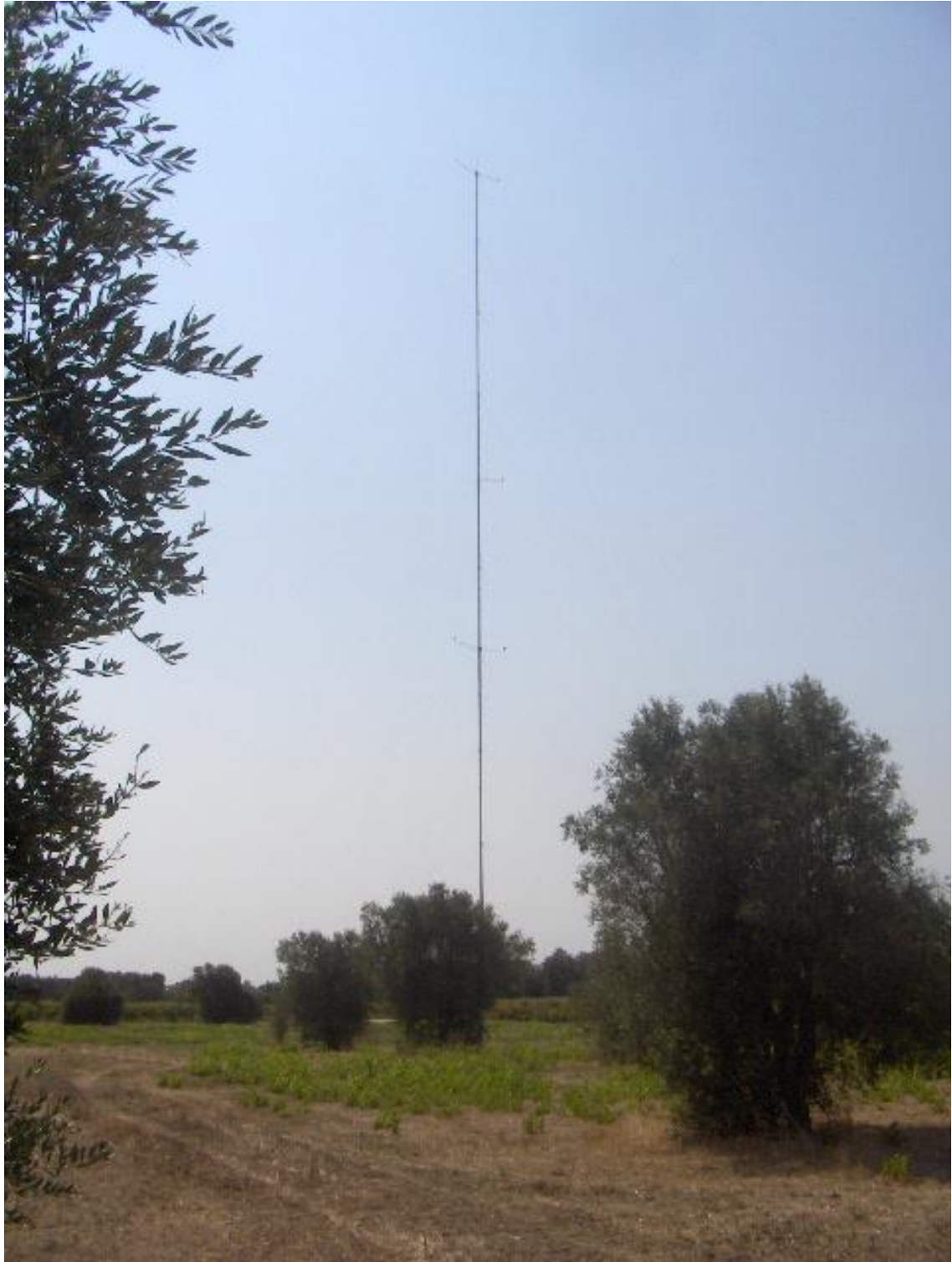
$V_{h0}$  = *velocità vento ad altezza  $h=h_0$* ;


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

Il coefficiente di Wind Shear che meglio interpola le velocità vento medie di periodo in contemporaneità di acquisizione è riportato nella scheda di sintesi.

La caratterizzazione ed i risultati delle elaborazioni eseguite per ciascun sensore o coppia di sensori velocità/direzione, sono sintetizzati dalle tabelle e dai relativi diagrammi riportati di seguito ed è il meglio che si potesse ottenere con quanto a disposizione.

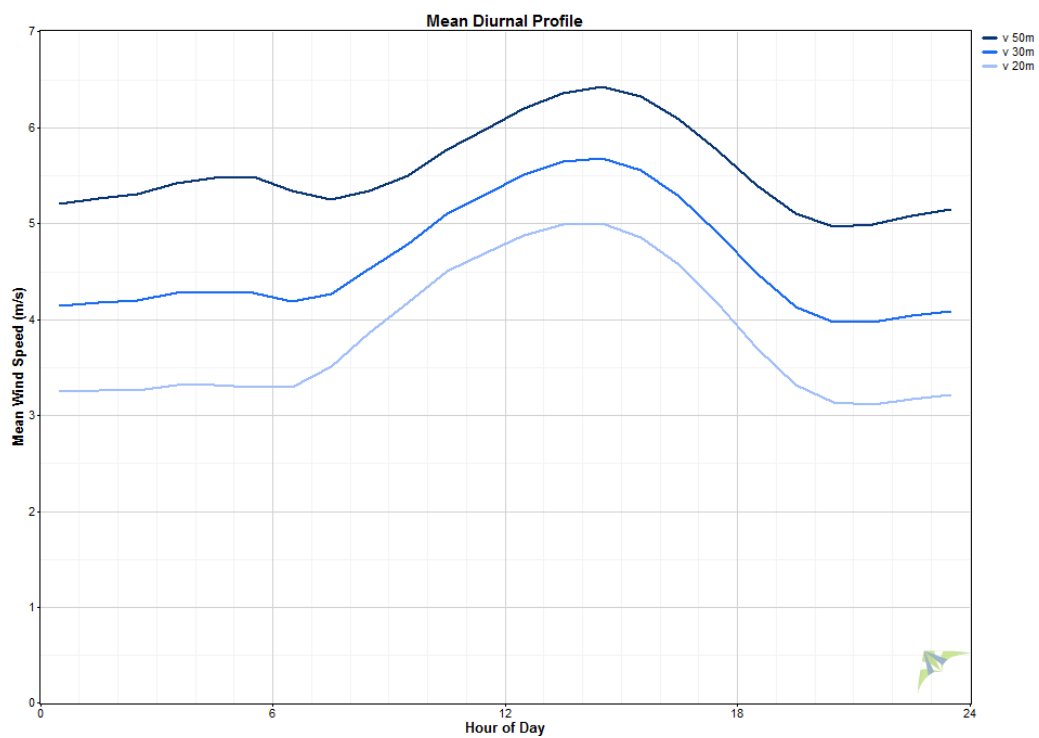
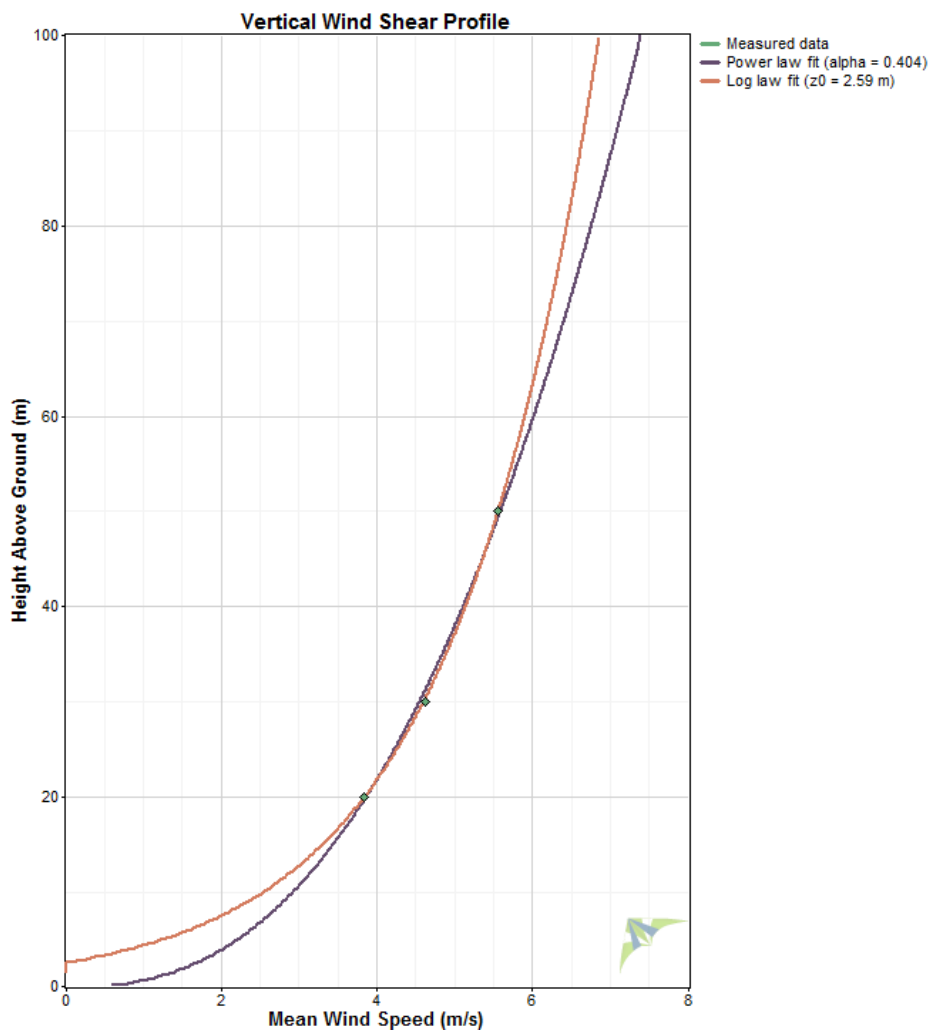
	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 4



	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 5

### Stazione anemometrica: caratterizzazione e sintesi elaborazioni

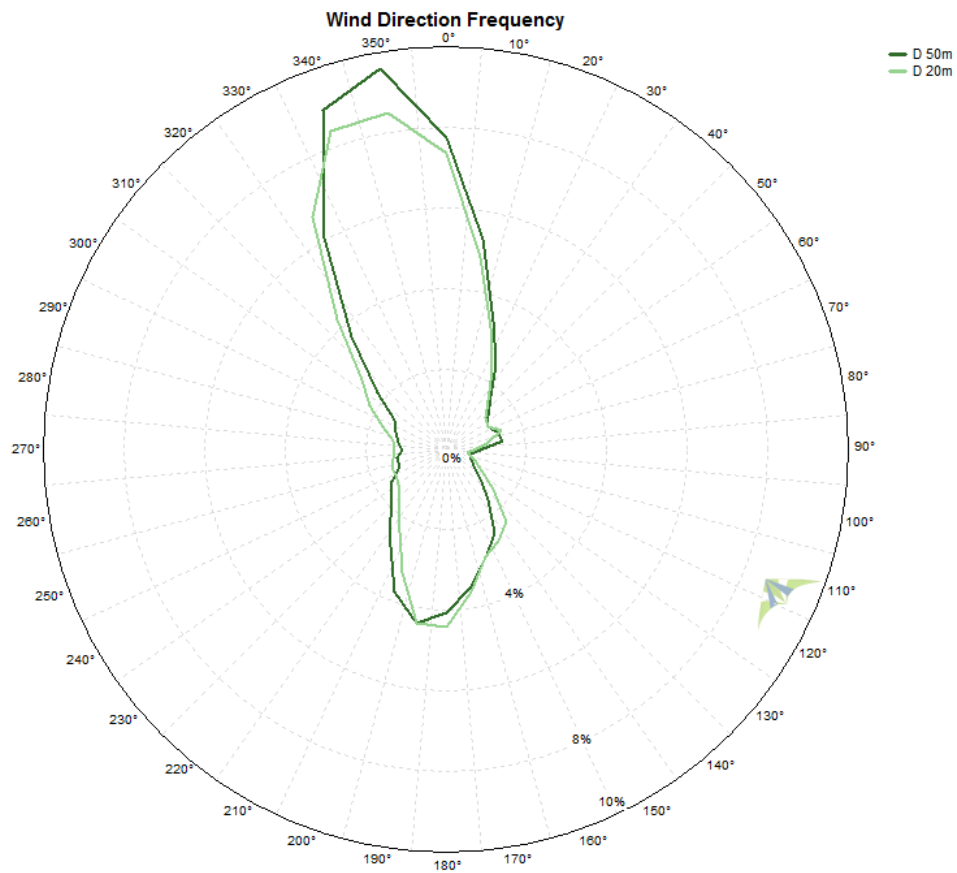
IDENTIFICAZIONE STAZIONE			
Codice	<b>6179</b>		
n° sensori velocità	3 (h=20 m, h=30 m, h=50 m)		
n° sensori direzione	3 (h=20 m, h=50 m)		
COLLOCAZIONE GEOGRAFICA			
Regione, Comune (Provincia)	Puglia, Brindisi		
PUNTO D'INSTALLAZIONE			
Sistema di coordinate geografiche	UTM – WGS84		
Fuso	33		
Longitudine	745 732		
Latitudine	4 485 677		
Altitudine	70 m slm		
ACQUISIZIONE DATI			
Altezza dal suolo sensori velocità sls	h=20m	h=30m	h=50m
Frequenza di acquisizione	10 minuti		
Data primo rilievo dati	27 gennaio 2010		
Ultimo rilievo dati	12 dicembre 2013		
Eventi complessivi possibili	203772		
Eventi ammissibili	129289	129289	129289
Disponibilità di periodo	63%	63%	63%
ELABORAZIONI			
Altezza dal suolo sensori velocità	h=20m	h=30m	h=50m
Velocità vento media di periodo, <i>misurata</i>	3.83 m/s	4.62 m/s	5.55 m/s
Coefficiente di scala, A Weibull	4.32 m/s	5.20 m/s	6.24 m/s
Coefficiente di forma, k Weibull	2.15	2.30	2.30
Coefficiente di Wind Shear	0.4		



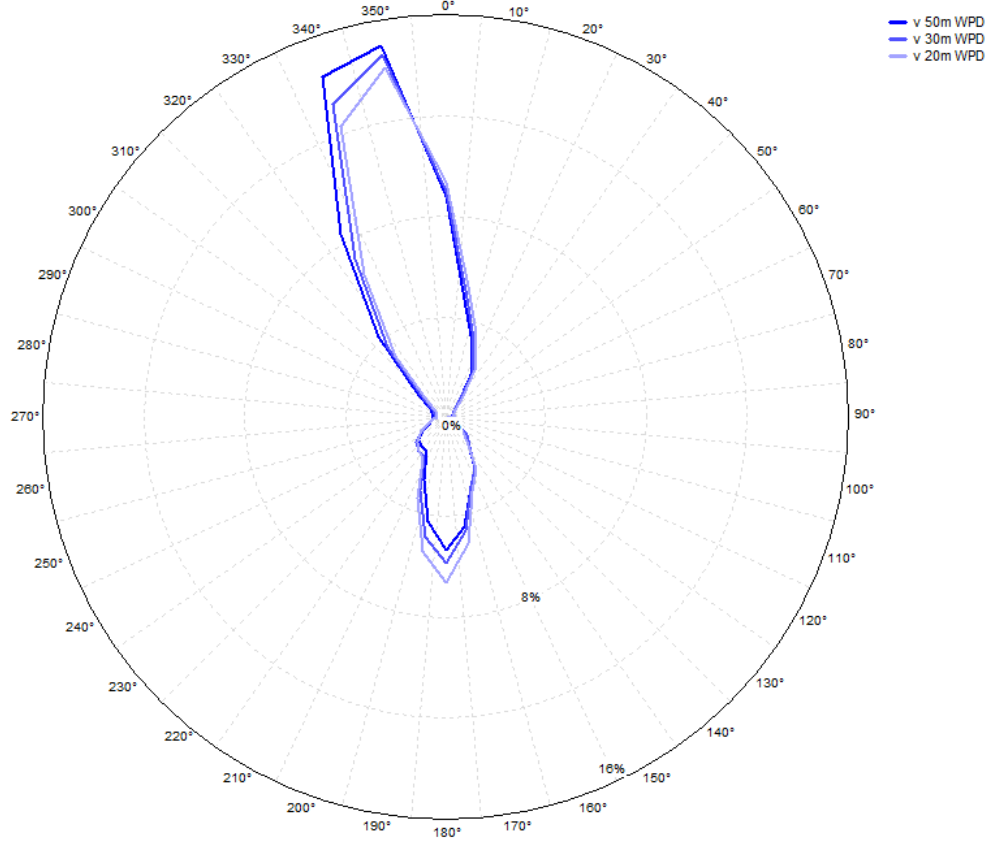
anno	mese	h = 20 m sls		D 20 m sls	h = 30 m sls		h = 50 m sls		D 50 m sls
		disponibilità (%)	velocità media (m/s)	disponibilità (%)	disponibilità (%)	velocità media (m/s)	disponibilità (%)	velocità media (m/s)	disponibilità (%)
2010	Jan	100%	3.62	100%	100%	4.44	100%	5.36	100%
2010	Feb	100%	4.06	100%	100%	5.02	100%	5.96	100%
2010	Mar	100%	4.00	100%	100%	4.83	100%	5.60	100%
2010	Apr	100%	4.20	100%	100%	4.97	100%	5.89	100%
2010	May	100%	3.87	100%	100%	4.55	100%	5.32	100%
2010	Jun	100%	3.95	100%	100%	4.62	100%	5.42	100%
2010	Jul	100%	3.90	100%	100%	4.52	100%	5.40	100%
2010	Aug	100%	3.99	100%	100%	4.67	100%	5.66	100%
2010	Sep	100%	3.56	100%	100%	4.22	100%	5.12	100%
2010	Oct	100%	3.27	100%	100%	3.94	100%	4.83	100%
2010	Nov	100%	3.90	100%	100%	4.64	100%	5.66	100%
2010	Dec	100%	4.24	100%	100%	5.07	100%	6.32	100%
2011	Jan	100%	3.22	100%	100%	4.06	100%	5.11	100%
2011	Feb	100%	4.23	100%	100%	5.23	100%	6.52	100%
2011	Mar	100%	4.62	100%	100%	5.52	100%	6.76	100%
2011	Apr	100%	4.05	100%	100%	4.84	100%	5.90	100%
2011	May	100%	3.88	100%	100%	4.60	100%	5.60	100%
2011	Jun	100%	4.00	100%	100%	4.69	100%	5.60	100%
2011	Jul	100%	3.14	100%	100%	3.66	100%	4.24	100%
2011	Aug	100%	3.90	100%	100%	4.60	100%	5.42	100%
2011	Sep	100%	3.41	100%	100%	4.03	100%	4.92	100%
2011	Oct	91%	4.04	91%	91%	4.97	91%	6.08	91%
2011	Nov	0%		0%	0%		0%		0%
2011	Dec	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Jan	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Feb	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Mar	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Apr	0%		0%	0%		0%		0%
2012	May	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Jun	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Jul	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Aug	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Sep	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Oct	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Nov	0%		0%	0%		0%		0%
2012	Dec	0%		0%	0%		0%		0%
2013	Jan	0%		0%	0%		0%		0%
2013	Feb	0%		0%	0%		0%		0%
2013	Mar	8%	5.08	8%	8%	6.08	8%	7.15	8%
2013	Apr	100%	4.22	100%	100%	5.06	100%	6.08	100%
2013	May	100%	3.88	100%	100%	4.62	100%	5.44	100%
2013	Jun	100%	3.98	100%	100%	4.83	100%	5.62	100%



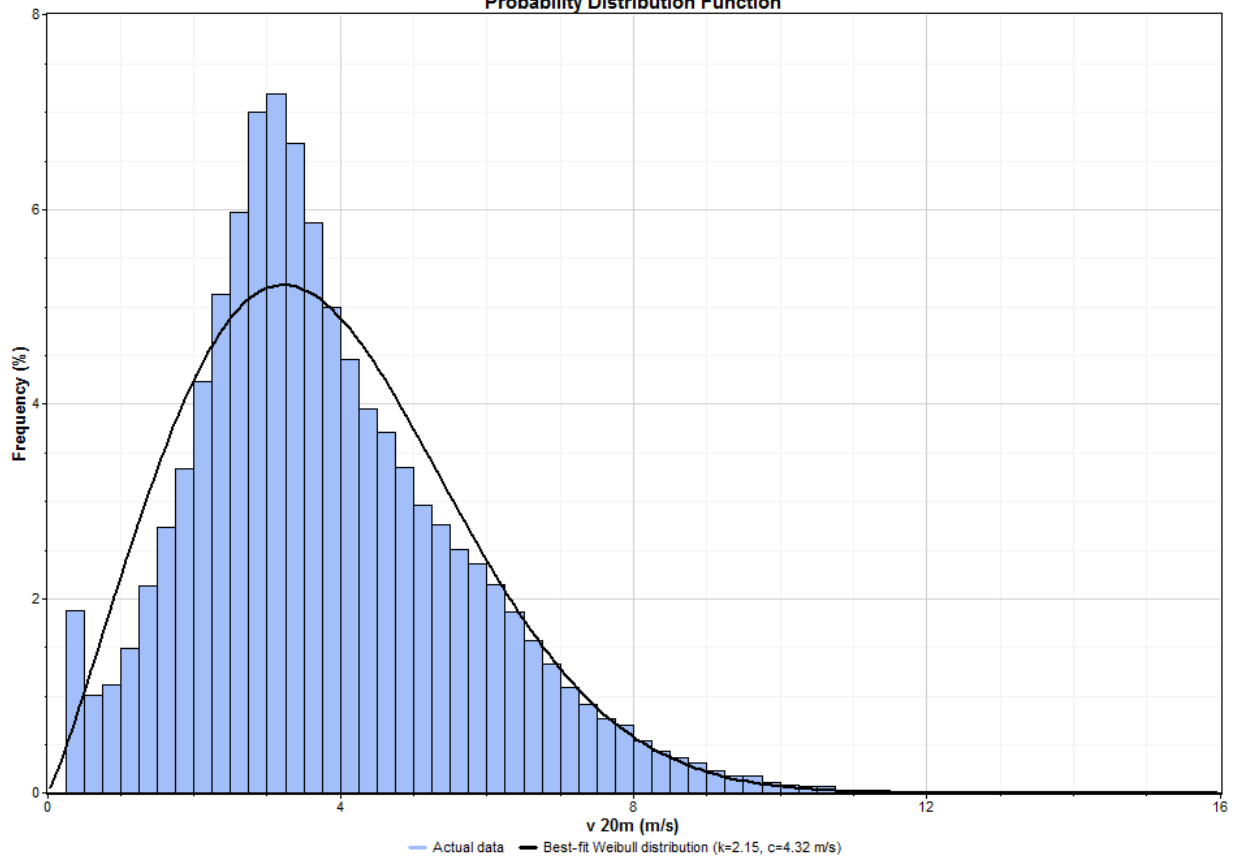
2013	Jul	100%	4.13	100%	100%	5.04	100%	5.86	100%
2013	Aug	100%	4.08	100%	100%	4.99	100%	5.87	100%
2013	Sep	100%	3.28	100%	100%	4.14	100%	4.87	100%
2013	Oct	100%	3.07	100%	100%	4.07	100%	4.80	100%
2013	Nov	100%	3.10	100%	100%	3.97	100%	5.13	100%
2013	Dec	100%	3.53	100%	100%	4.60	100%	5.87	100%
tot		63%	<b>3.83</b>	63%	63%	<b>4.62</b>	63%	<b>5.55</b>	63%

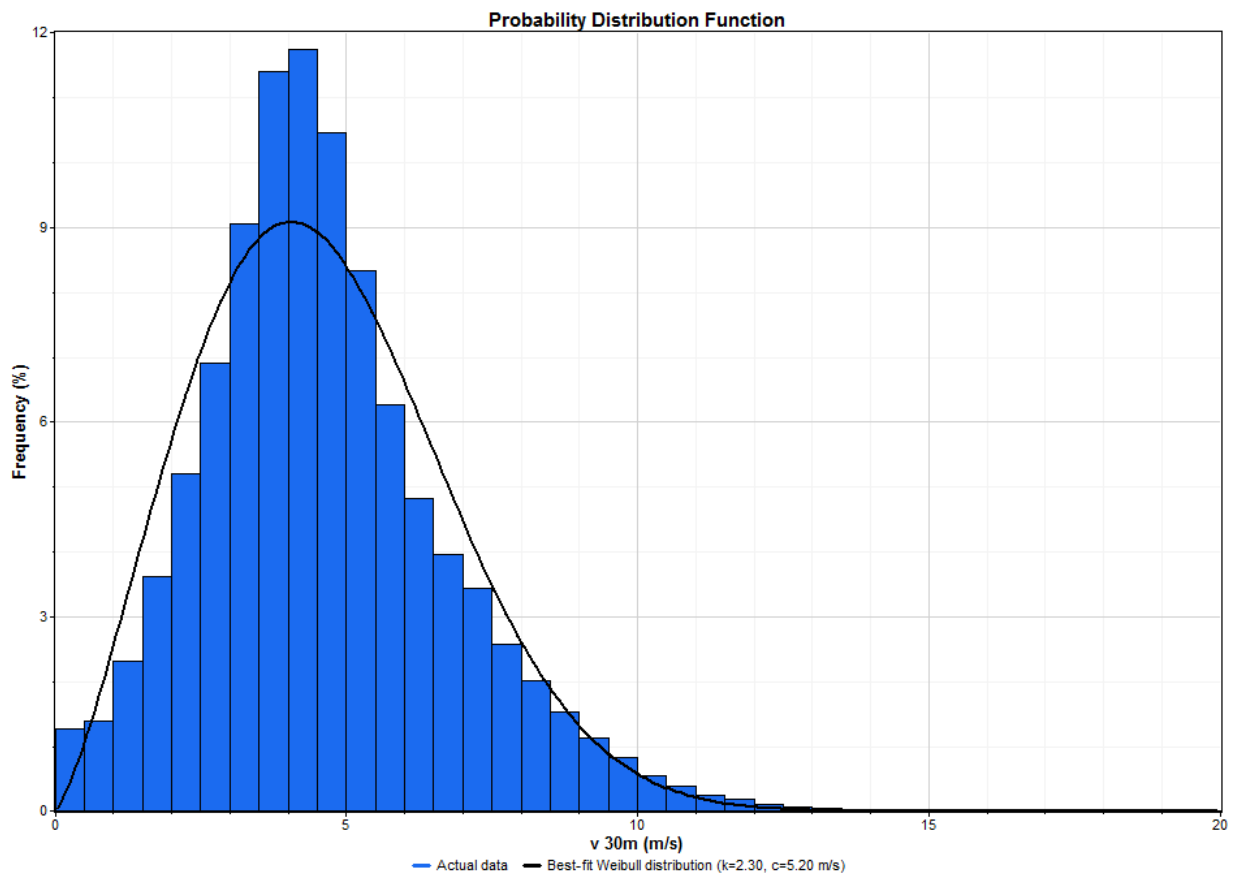


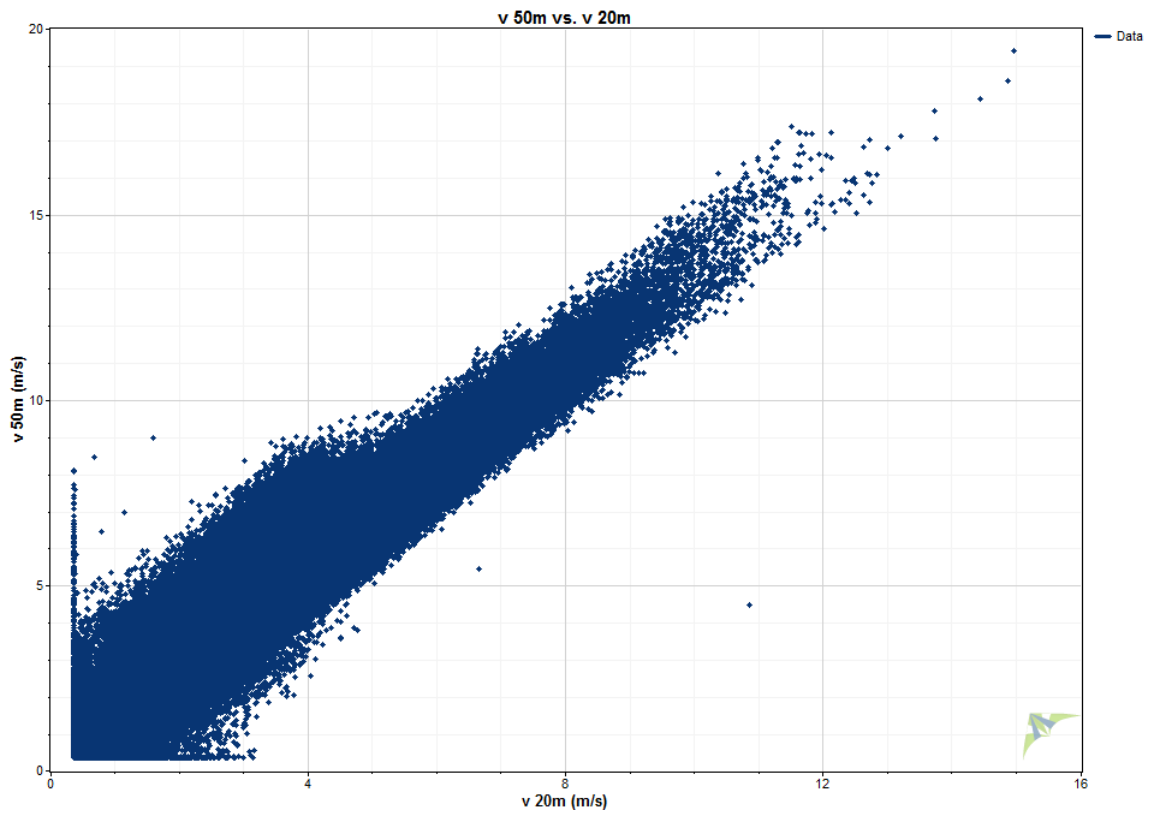
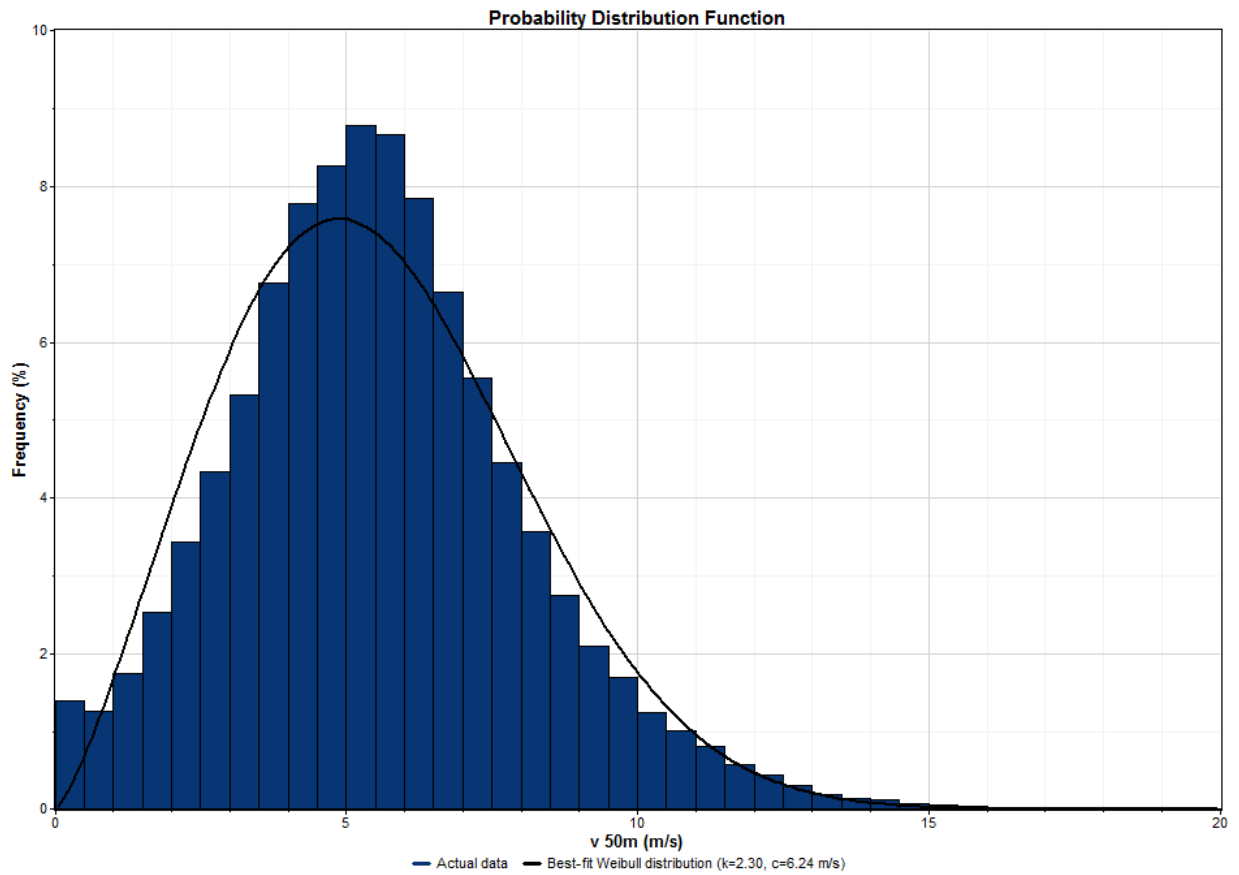
**Proportion of Total Wind Energy vs. D 50m**

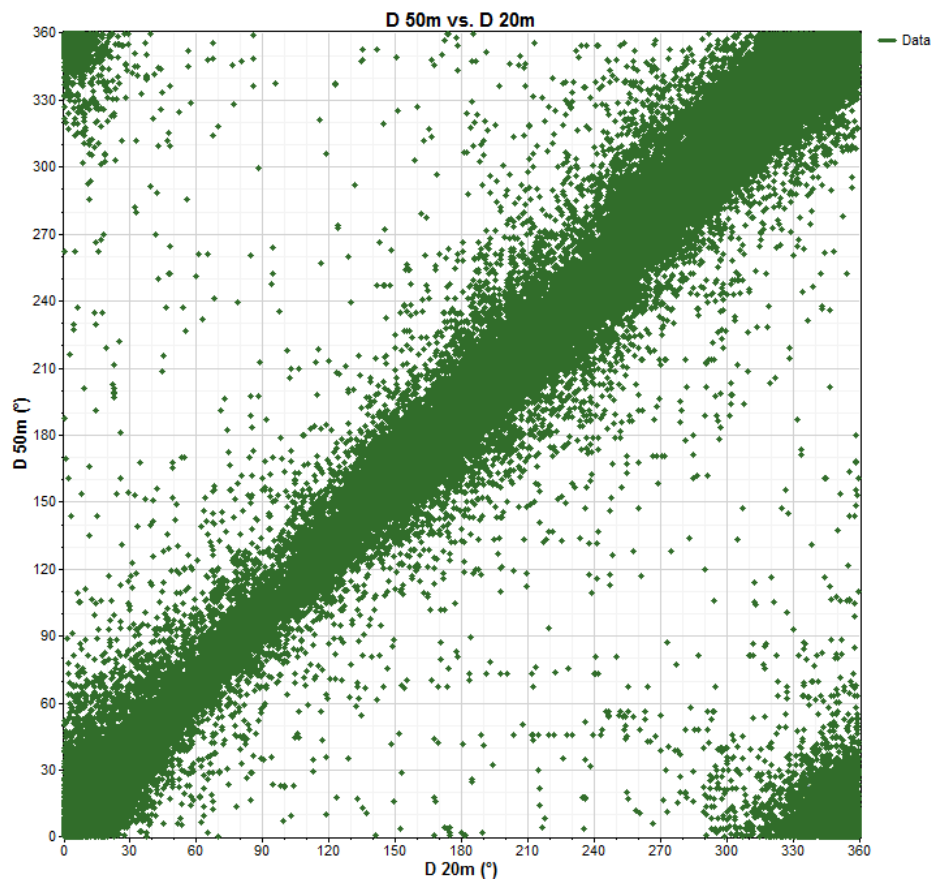
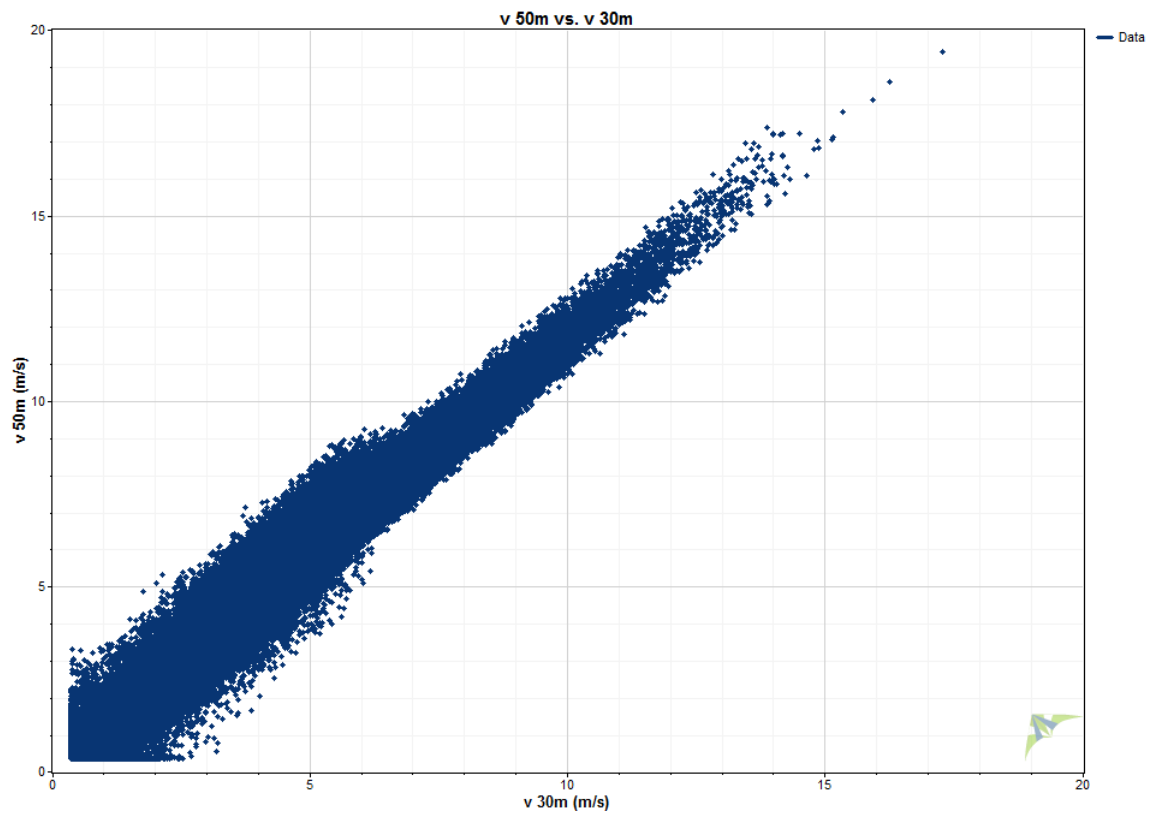



**Probability Distribution Function**









	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 13

### 3 CENTRALE EOLICA

#### 3.1 Configurazione d'impianto

L'impianto insiste nel territorio dei Comuni di Brindisi, Mesagne e Cellino San Marco ad un'altitudine media pari a circa 68 m slm.

Nella tabella sottostante sono riportate le singole posizioni puntuali in coordinate geografiche *UTM*:

Turbina	UTM – WGS84		Altitudine [m]
	Long. E [m]	Lat. N [m]	
1C	743124	4489115	70
2C	742924	4488106	71
3C	743883	4487836	70
1D	746224	4487006	66
2D	745624	4486143	70
3D	746449	4486344	68
4D	747131	4486445	64

Il layout, così come i dati dell'anemometro, i modelli di aerogeneratore (curva di potenza e di spinta), sono stati forniti dal cliente.

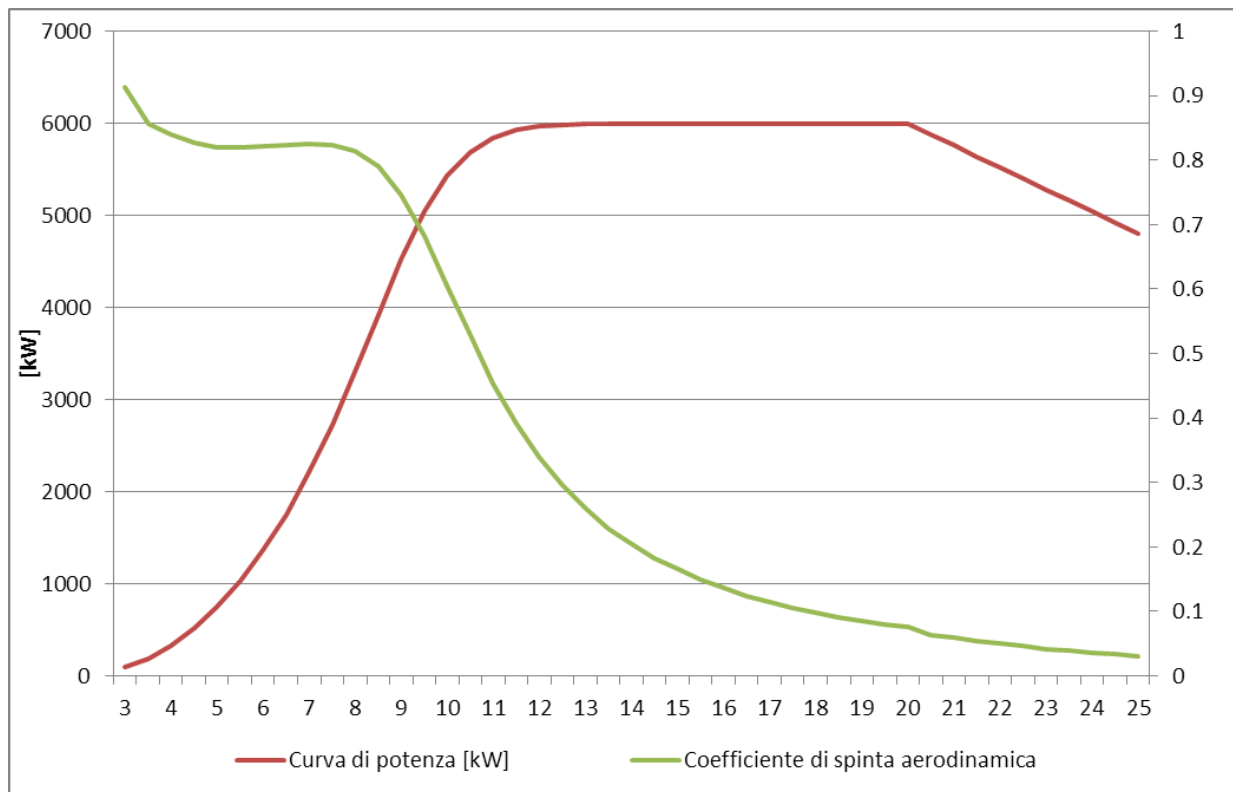
#### 3.2 Aerogeneratore di potenza unitaria 6.0 MW

Le principali caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore, in condizioni standard al livello del mare, sono riassunte di seguito:

Potenza nominale	6000 kW
n° pale	3
Diametro rotore	170.0 m
Altezza mozzo rotore	115.0 m
Tipologia torre	tubolare
Velocità vento di avvio (cut-in)	3.0 m/s
Velocità vento di stacco (cut-out)	25 m/s

La curva di potenza utilizzata è relativa ad una densità dell'aria pari a 1.210 kg/m<sup>3</sup>. Per il calcolo delle perdite di energia da interferenza aerodinamica tra le macchine (effetto scia) è stata inoltre considerata la curva del coefficiente di spinta aerodinamica sul rotore in funzione della velocità vento relativa allo stesso valore di densità dell'aria.

Velocità vento [m/s]	Aerogeneratore - 6.0 MW	
	Potenza elettrica [kW]	Coefficiente di spinta aerodinamica
3	93	0.913
3.5	181	0.857
4	329	0.84
4.5	520	0.827
5	753	0.819
5.5	1033	0.819
6	1365	0.821
6.5	1756	0.824
7	2210	0.825
7.5	2728	0.824
8	3307	0.815
8.5	3923	0.791
9	4523	0.747
9.5	5042	0.683
10	5433	0.606
10.5	5691	0.528
11	5843	0.454
11.5	5924	0.391
12	5965	0.339
12.5	5984	0.295
13	5993	0.259
13.5	5997	0.229
14	5999	0.204
14.5	5999	0.183
15	6000	0.165
15.5	6000	0.149
16	6000	0.136
16.5	6000	0.124
17	6000	0.114
17.5	6000	0.105
18	6000	0.098
18.5	6000	0.091
19	6000	0.085
19.5	6000	0.08
20	6000	0.076
20.5	5880	0.064
21	5760	0.059
21.5	5640	0.054
22	5520	0.05
22.5	5400	0.046
23	5280	0.042
23.5	5160	0.039
24	5040	0.036
24.5	4920	0.034
25	4800	0.031



## 4 ANALISI DI PRODUCIBILITÀ

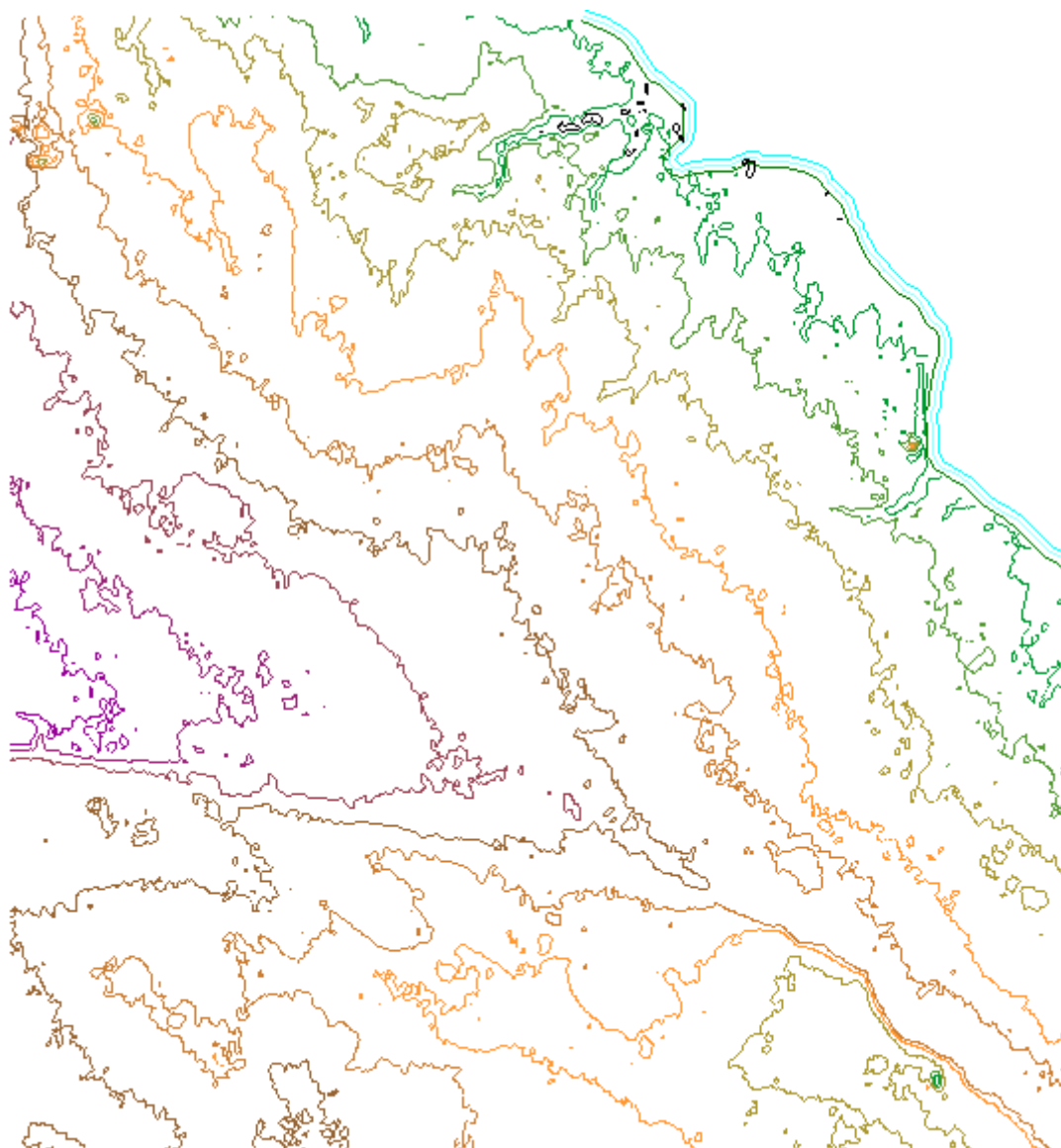
### 4.1 Modello orografico digitale

È stato realizzato un modello orografico digitale che descrive l'andamento altimetrico dell'area geografica interessata dalla simulazione del campo di vento.

Il modello digitale è stato utilizzato come input per la simulazione del campo di vento sul sito, eseguita con il codice di calcolo *WASP*.

Per la definizione del livello di rugosità superficiale del terreno è stato assunto un valore uniforme per  $z_0$  (lunghezza di rugosità) pari a 0.03, caratteristico di un'area geografica con orografia dolce, con pochi alberi e case sparse; il modello non è stato implementato da una alcuna mappa di rugosità.






Modello orografico digitale

#### 4.2 Mappatura del campo di vento

L'atlante di vento geostrofico dell'area è stato calcolato, preventivamente all'avvio della simulazione, implementando il set di dati anemometrici più significativo per la descrizione del regime anemologico di breve periodo registrato durante la campagna di monitoraggio (è stato preso in considerazione un anno solare in cui si ha maggiore e contemporanea disponibilità dei sensori velocità/direzione).

E' stata selezionata la coppia di sensori velocità/direzione della stazione anemometrica elaborata. La scelta è stata dettata dall'individuazione dei maggiori livelli di attendibilità, di disponibilità di periodo, di altezza dal suolo.

La simulazione è stata altresì eseguita ad altezza pari alla quota alla quale si trovano i mozzoni delle turbine in progetto utilizzando un coefficiente di wind shear che si ritiene adeguato per l'area (0.18).

	Tipo:	Documentazione di Progetto		
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>		
	Rev. 0 – 20/12/2019			Pag. 17

#### 4.3 Risultati dell'analisi anemologica (Resa energetica di breve periodo)

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

La velocità vento su ogni posizione è stata calcolata attraverso l'applicazione WASP dell'atlante di vento estrapolato dalle acquisizioni della stazione anemometrica.

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 di decadimento (*wake decay constant*) pari a:


$$k = 0.5 / \ln(h_{\text{mozzo}} / z_0)$$

	Potenza Turbine	h mozzo			Velocità vento al mozzo [m/s]	Resa energetica annua		
		A	k	[m]		Perdite per scia aerodinamica	lorda [GWh/anno]	netta [GWh/anno]
1C	6MW	7.49	2.24	115	6.63	2.48%	20.260	19.758
2C	6MW	7.47	2.24	115	6.62	3.34%	20.214	19.539
3C	6MW	7.47	2.25	115	6.62	3.52%	20.229	19.517
1D	6MW	7.49	2.25	115	6.63	9.16%	20.284	18.426
2D	6MW	7.51	2.24	115	6.65	8.71%	20.403	18.626
3D	6MW	7.51	2.24	115	6.65	11.19%	20.395	18.113
4D	6MW	7.50	2.24	115	6.64	4.84%	20.334	19.350
<b>Totali</b>							<b>142.120</b>	<b>133.329</b>
<b>Medie</b>					<b>6.63</b>	<b>6.18%</b>	<b>20.303</b>	<b>19.047</b>

#### 4.4 Producibilità netta di impianto

Ai fini del calcolo della producibilità netta di impianto, ovvero quella effettivamente messa in rete e dunque fatturata ai fini della vendita dell'energia, sono stati considerati i seguenti fattori di perdita:

Fattore	Perdita
Efficienza elettrica	3 %
Disponibilità	3 %
Isteresi per elevata velocità vento	0.2 %
Lavori di manutenzione sottostazione	0.2 %
Ghiaccio e depositi sulle pale	0.5 %
topografia	2 %

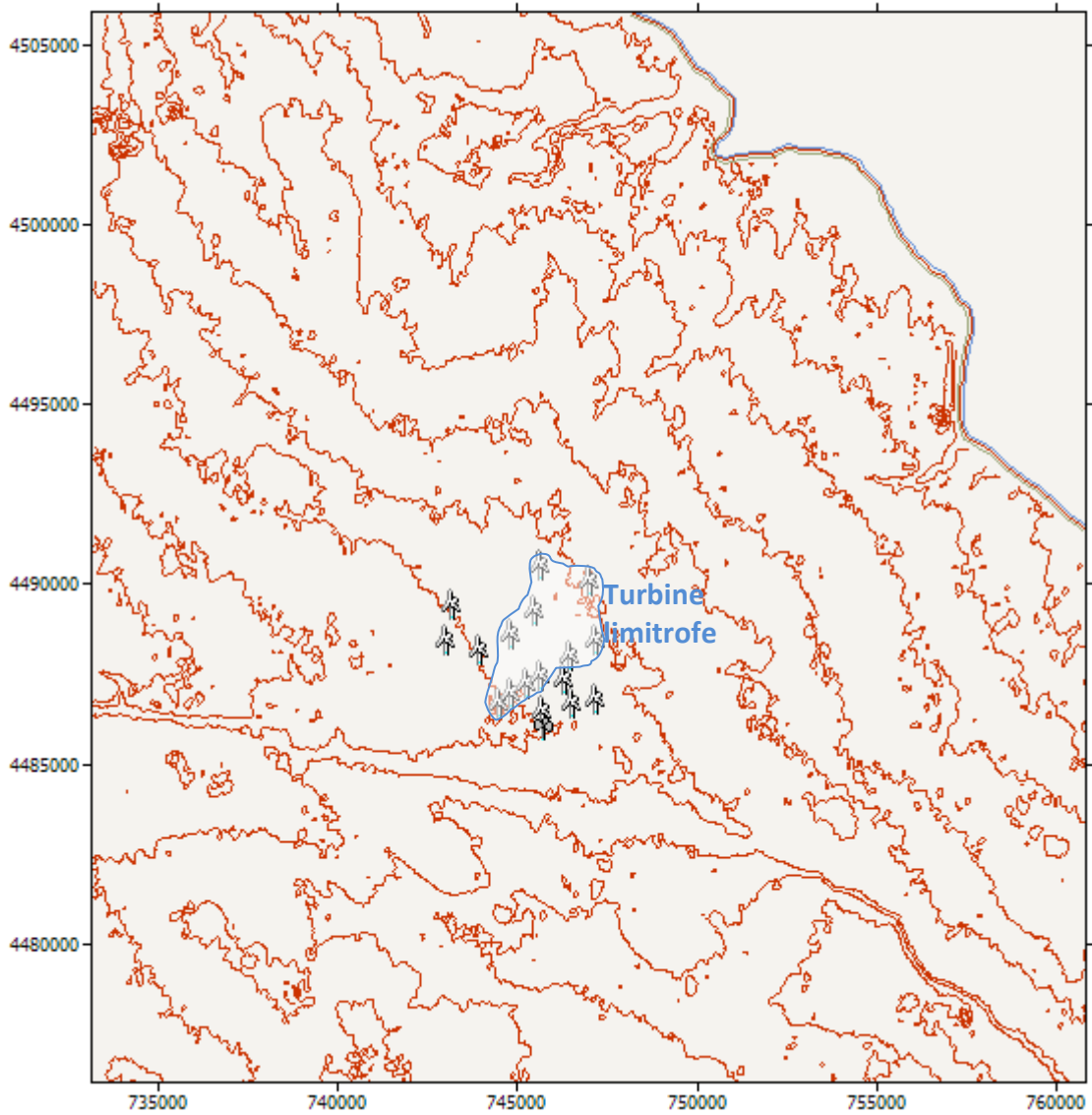
	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 18


Fattori di perdita aggiuntivi

Pertanto, sulla base delle suddette considerazioni, si può stimare che la producibilità netta media annua della centrale eolica, sia la seguente:

	Potenza unitaria Turbine	<b>producibilità netta media annua</b> [GWh/anno]	<b>ore equivalenti medie unitarie a potenza nominale</b> [h]
1C	6.0MW	18.241	3040
2C	6.0MW	18.039	3006
3C	6.0MW	18.019	3003
1D	6.0MW	17.011	2835
2D	6.0MW	17.196	2866
3D	6.0MW	16.722	2787
4D	6.0MW	17.864	2977
<b>Totali</b>		<b>123.1</b>	
<b>Medie</b>			<b>2931</b>

*E' stata presa in considerazione la presenza, nello stesso Comune, di parchi eolici limitrofi che possono influenzare la producibilità del parco in oggetto.*



	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Relazione di studio anemologico</b>	
	Rev. 0 – 20/12/2019		Pag. 20