

Sommario:

1 SINTESI	2
2 INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI STUDIO	3
3 CARATTERISTICHE DELLE APPARECCHIATURE DI MISURA	5
4 CALENDARIO DETTAGLIATO E MODALITA' DI RILEVAZIONE	5
5 QUANTIFICAZIONE E MODALITA' DI TRATTAMENTO DELLE MISURAZIONI NON VALIDE	5
6 CARATTERIZZAZIONE EOLICA DEL SITO AGGREGATA E DISAGGREGATA PER STAGIONI	7
6.1 DENSITA' DELL'ARIA – DATI CLIMATICI	8
6.2 DIREZIONE DEL VENTO	8
6.3 REGIME DEL VENTO	10
6.4 VARIAZIONI GIORNALIERE	11
6.5 VARIAZIONI STAGIONALI	12
6.6 STIMA DI PRODUCIBILITA'	12
6.6.1 MODELLI DI FLUSSO E PRODUZIONE	13
6.6.2 BASI DELLA STIMA DI PRODUCIBILITA'	13
6.6.3 CURVA DI POTENZA	13
6.6.4 LAYOUT PROPOSTO	15
6.6.5 STIMA DELLA RISORSA DEL VENTO	16
6.6.6 STIMA DELLA PRODUCIBILITA'	17
6.7 PARAMETRI DI CARICO	18
6.7.1 MODELLO DI FLUSSO AERODINAMICO	18
6.7.2 RISULTATI SUI PRINCIPALI PARAMETRI	19
6.8 INCERTEZZA	21

ALLEGATO A: VERBALE DI INSTALLAZIONE DELLA TORRE ANEMOMETRICA

ALLEGATO B: VERBALE DI TARATURA E COLLAUDO DELL'ANEMOMETRO

ALLEGATO C: STUDIO WINDPRO – VALORI RISULTANTI PARCO EOLICO – CORONA PRIMA

1 SINTESI

Il presente studio indica la stima della produzione e di alcuni parametri del vento relativi ai carichi per il parco eolico Corona Prima di 42 MW, sito in località Corona e Monte Verrutoli, nel comune di Tricarico. I calcoli sono stati effettuati utilizzando i dati del vento di una stazione anemometrica sita in località Monte Verrutoli, all'interno dell'area di progetto.

La stima della produzione ed il calcolo dei dati climatici sono stati effettuati tramite il software WAsP 9.1/WindPRO 2.6, utilizzando i dati del vento di oltre 12 mesi di misurazioni. Il calcolo è stato effettuato per un layout di 20 turbine eoliche (WTG) del Tipo S97 - 2.1 MW, con altezza del mozzo di 100 metri. Nel calcolo della produzione è stato utilizzato un valore medio di densità dell'aria pari a 1.145kg/m³.

Le curve di potenza delle singole turbine, corrette in base alle densità dell'aria calcolate nelle singole posizioni, sono state calcolate in base alle condizioni di densità dell'aria media sul sito, e stimando le variazioni di densità nelle singole posizioni, ad altezza del mozzo, tramite l'utilizzo del modello di software WindPRO 2.6

Le informazioni climatiche relative al dato di temperatura, sono state desunte dai dati della stazione meteorologica di Bari. Le stime di produzione eseguite comprendono le perdite di scia fra le turbine all'interno del parco eolico, mentre le eventuali perdite elettriche, di disponibilità e le altre perdite tecniche non sono state incluse nei calcoli.

In base alle informazioni di cui sopra, sono stati stimati i seguenti dati:

1 Stima di producibilità – Tricarico

Tipo di aerogeneratori	: S97 - 2.1 MW, altezza torre 100 metri
Numero di aerogeneratori	: 20
Potenza totale installata	: 42.0 MW
Stima di produzione del parco eolico	: 122,2 GWh/anno
Efficienza media del parco eolico	: 94%

2 Parametri di carico aerodinamico – Tricarico

Sintesi generale sito

1. Minima distanza fra turbine (in diametri rotore Ø)	: 3.6
2. Quota del sito (min. e max. in metri s.l.m.)	: da 370m a 600m
3. densità dell'aria, media annuale (kg/m ³)	: 1.145 kg/m ³
4. temperatura limite massima (T99%)	: 35.1 °C
5. Temperatura limite minima (T1%)	: -3.9 °C

Sintesi carichi a fatica

6. Velocità del vento media ad altezza mozzo	: 8.1 m/s
7. Fattore A Weibull ad altezza mozzo	: 9.21 m/s
8. Fattore K Weibull medio ad altezza mozzo	: 2.18
9. Intensità di turbolenza media "TI" (> 9.5 m/s) %	: 10.5
10. deviazione standard di TI media (> 9.5 m/s) %	: 3.0
11. Massimo angolo di "inflow", su direzione del vento principale	: ± 9.1° a 300°
12. Wind shear medio a quota rotore	: 0.23

Sintesi carichi estremi:

13. velocità del vento estrema 50-anni/10-minuti ad altezza mozzo	: 42.6 m/s
---	------------

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

14. Massima densità dell'aria

: 1.225 kg/m³

2 INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Il sito del parco eolico di Corona Prima, nel comune di Tricarico, è situato su una formazione collinare. L'orografia del sito è caratterizzata da una cresta che attraversa l'area di interesse da nord-ovest a sud-est. Il parco eolico è situato a circa 70 km a ovest-sud-ovest di Bari in provincia di Matera - Basilicata, Italia. La quota delle turbine vanno da circa 410 metri sino a circa 592 metri sul livello del mare. Il sito del parco eolico è costituito da terreni coltivati con alberi sparsi ed è utilizzato per l'agricoltura. Il Versante nord dell'area del parco è coperto da foreste. Sulla base di queste osservazioni, i dati di rugosità sono stati definiti come segue: lo sfondo di rugosità, che consiste principalmente di terreno agricolo con pochissimi edifici e alberi, è stato impostato su 0.03m, e le aree forestate a 0.8m. La strada di accesso al sito è costituita da strade asfaltate.

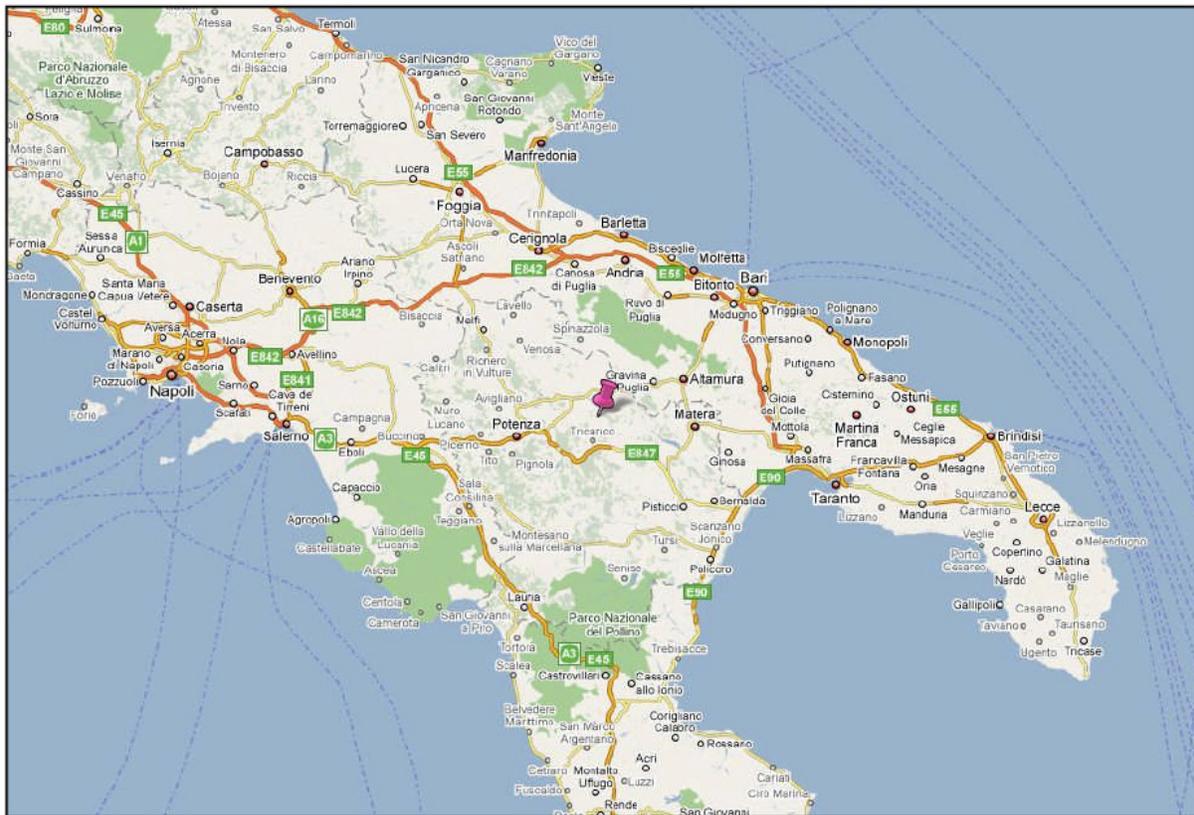


Figura 1: Localizzazione del sito. Il segnaposto in rosa indica la posizione dell'anemometro.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
Relazione specialistica – Studio Anemologico
Elaborato di Progetto A.5

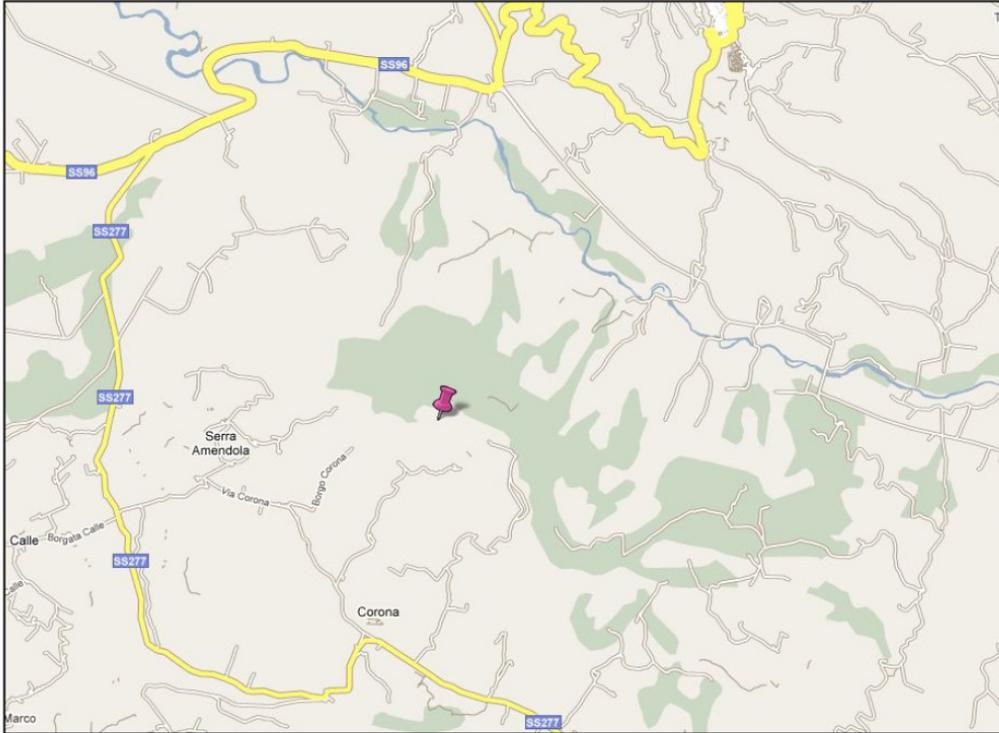


Figura 2: Dettaglio della localizzazione del sito. Il segnaposto in rosa indica la posizione dell’anemometro.

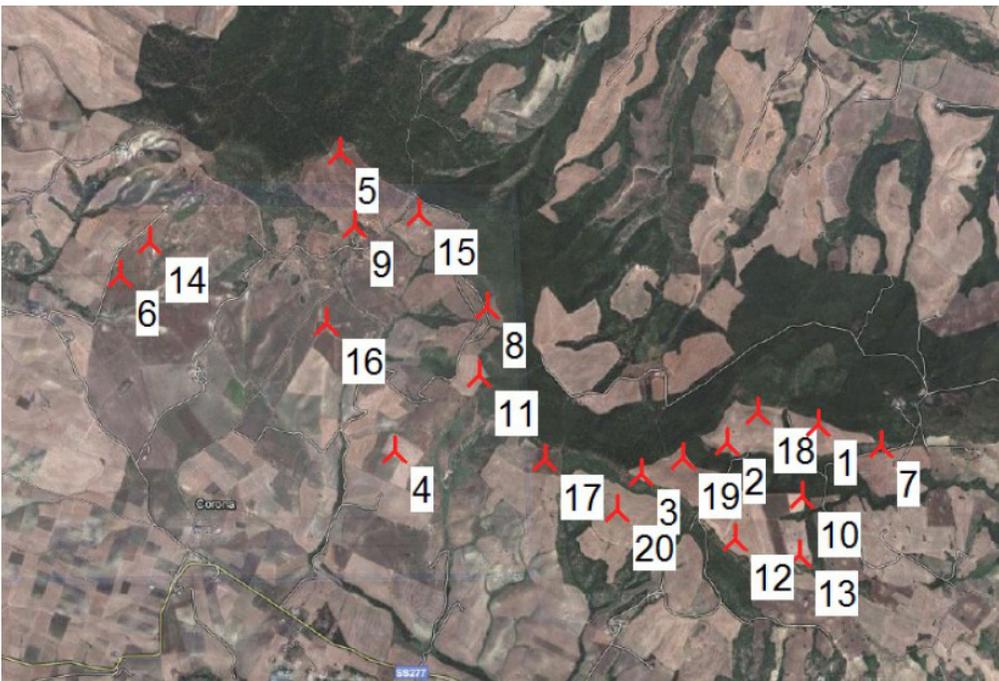


Figura 2A: Sito eolico su base ortofoto, con indicazione della localizzazione degli aerogeneratori.

3 CARATTERISTICHE DELLE APPARECCHIATURE DI MISURA

Nel sito di Corona Prima sono state installate 2 torri di misura anemometriche, ST01 di altezza pari a 30 metri e con dati registrati a partire dal 12 Agosto 2003, e Tricarico30M di altezza anch'essa pari a 30 metri e con dati a partire dal 21 ottobre 2008.

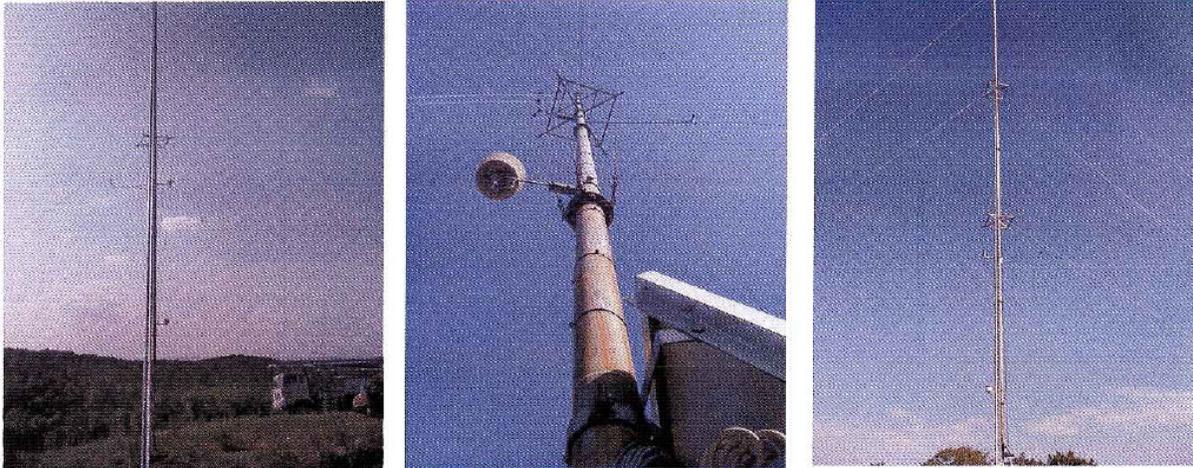


Figura 3: Stralcio fotografico del report di installazione dell'anemometro TricaricoM30.

I dati relativi alla sensibilità delle apparecchiature, il verbale di installazione della torre anemometrica Tricarico 30M ed il relativo verbale di taratura e collaudo dell'anemometro sono illustrati negli allegati B e C.

4 CALENDARIO DETTAGLIATO E MODALITA' DI RILEVAZIONE

Il calendario e le modalità di rilevazione sono indicati nella seguente tabella:

Descrizione	Altezza misurazioni (m)	UTM AD50 Zona 33			Data inizio e fine misurazioni	
		Est (m)	Nord (m)	Quota (slm)		
ST01	30 e 10 (banderuola a 30m)	601368	4506119	584	12/08/2003	24/05/2005
Tricarico30M	30 e 10 (banderuola a 30m)	601368	4506119	584	21/10/2008	28/09/2009

Tabella 1: Calendario e modalità di rilevazione sul sito di Corona Prima.

Entrambi i sistemi di rilevazione hanno fornito dati di vento su medie di 10 minuti. Le località di installazione sono indicate in tabella.

5 QUANTIFICAZIONE E MODALITA' DI TRATTAMENTO DELLE MISURAZIONI NON VALIDE

Per quanto riguarda la quantificazione e la modalità del trattamento delle misurazioni non valide, si è riscontrato che le misurazioni di direzione del vento comprese fra le date 1/10/2004 e 24/05/2005 dell'anemometro ST01 sono di dubbia validità. A causa di ciò si è deciso di non utilizzare, ai fini del presente studio, i dati di vento della stazione ST01 per il periodo di cui sopra.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

I dati di vento grezzi rilevati in sito sono stati filtrati, tramite modelli statistici, al fine di rimuovere ogni valore non valido a causa di attrezzatura danneggiata e/o a causa di anomalie dovute a condizioni meteo non favorevoli, come la formazione di ghiaccio sui sensori.

Quota di misurazione	Periodo di misurazione	Recupero dati pre-filtrazione
ST 01 – 30m	Da 12/08/03 a 24/05/05	97,7%
ST 01 – 10m	Da 12/08/03 a 24/05/05	97,7%

Tabella 2: Sintesi dei dati a disposizione.

I valori medi mensili della velocità del vento per tutti i dati disponibili a 30 metri della stazione ST01 sono presentati nella Tavola seguente:

30.0m - Mean wind speed					
Month	2003	2004	2005	Mean	Mean of months
January		9.2	7.44	8.35	8.32
February		7.51	7.45	7.48	7.48
March		6.78	5.92	6.35	6.35
April		6.63	7.05	6.83	6.84
May		6.88	7.14	6.99	7.01
June		6.03		6.03	6.03
July		6.32		6.32	6.32
August	5.45	6.14		5.88	5.79
September	6.16	5.82		5.99	5.99
October	6.32	5.04		5.68	5.68
November	6.32	7.06		6.69	6.69
December	7.83	7.01		7.37	7.42
mean, all data	6.43	6.69	6.98	6.7	
mean of months	6.42	6.7	7		6.66

Tabella 3: Valori di velocità medie mensili di tutti i dati disponibili a 30 metri della torre di misura ST01.

Al fine di evitare distorsioni stagionali, il numero dei dati utilizzati, compresi fra quelli disponibili, è stato ridotto ad un numero intero di anni. In particolare, fra i dati misurati in loco è stato selezionato un anno di misurazioni.

Quota di misurazione	Periodo di misurazione	Recupero dati pre-filtrazione
ST 01 – 30m	Da 15/08/03 a 14/08/04	97,1%

Tabella 4: Sintesi dei dati selezionati per le analisi successive. Il valore percentuale è relativo al periodo di misurazione indicato.

I valori medi mensili delle velocità del vento, per un anno di dati selezionati a 30 metri di quota per la torre di misura ST01, sono indicati nella seguente tavola:

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

30.0m - Mean wind speed				
	2003	2004	Mean	Mean of months
January		9.2	9.2	9.2
February		7.51	7.51	7.51
March		6.79	6.79	6.79
April		6.63	6.63	6.63
May		6.88	6.88	6.88
June		6.04	6.04	6.04
July		6.32	6.32	6.32
August	5.53	5.65	5.58	5.59
September	6.18		6.18	6.18
October	6.34		6.34	6.34
November	6.33		6.33	6.33
December	7.84		7.84	7.84
mean, all data	6.47	6.96	6.78	
mean of months	6.44	6.88		6.8

Tabella 5: Valori di velocità medie mensili per un anno di dati selezionati, a 30 metri di quota, della torre di misura ST01.

La seguente analisi, incluso il calcolo della produzione energetica, si è basata su questo periodo di misura.

6 CARATTERIZZAZIONE EOLICA DEL SITO AGGREGATA E DISAGGREGATA PER STAGIONI

6.1 DENSITA' DELL'ARIA – DATI CLIMATICI

La densità dell'aria al sito è importante per ottenere la curva di potenza corretta, al fine di stimare la produzione del parco eolico, ed è anche importante in relazione al carico sopportato dalle turbine a causa del vento. Nel sito di Corona Prima, per ottenere le informazioni climatiche di interesse, sono stati utilizzati i dati di temperatura derivanti dalla stazione di Bari. Tale stazione di Bari si trova a circa 70 km a nord-est del sito ad un'altezza sul livello del mare di 43m. Estrapolando questi dati di temperatura alle altezze al mozzo di ogni turbina, si è ottenuta in media una densità dell'aria pari a 1.145kg/m³.

Temperature												
Source www.weatherbase.com												
Bari, Italy (all measurements in °C)												
Elevation: 43m Latitude: 41 08N Longitude: 016 47E in UTM WGS 84 Zone 33												
Average Temperature												
Ann	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
15.4	8	8	11	13	17	21	24	23	21	17	12	10

Average High Temperature												
Ann	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
19.3	12	12	14	17	21	25	28	28	25	21	16	13
Average Low Temperature												
Ann	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
11.1	5.0	5.0	6.0	8.0	12.0	16.0	19.0	19.0	16.0	13.0	8.0	6.0
Highest Recorded Temperature												
Ann	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
42	22	22	27	31	32	40	42	40	38	35	26	22
Lowest Recorded Temperature												
Ann	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
-2	-2	-2	-2	1	6	10	13	12	8	6	-1.0	-2

Tabella 6: Informazioni climatiche storiche della stazione meteorologica di Bari, temperature basate su 20 anni di misurazioni.

6.2 DIREZIONE DEL VENTO

Al fine di ottimizzare il layout del parco eolico in riferimento all'efficienza del parco, la conoscenza della direzione del vento è cruciale. La direzione del vento può essere descritta statisticamente in tre modi differenti: frequenza, velocità media del vento, e come combinazione delle due precedenti modalità, ovvero tramite il contenuto energetico del vento.

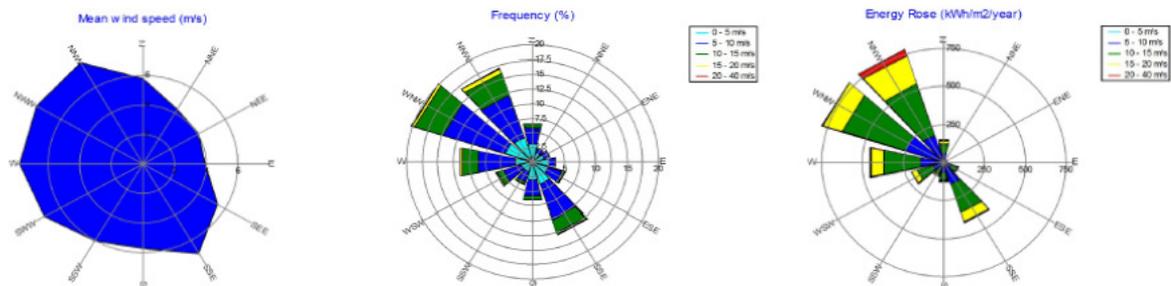


Figura 4: Velocità media del vento, frequenza e distribuzione energetica (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

La figura 4 mostra la frequenza e la distribuzione energetica del vento, basate sulle misurazioni della torre di misura ST01 a 30 metri, ed indica che le direzioni dominanti del vento previste provengono da un ampio settore da ovest a nord-nord-ovest ed un più ristretto settore da sud-sud-est.

6.3 REGIME DEL VENTO

La velocità del vento misurata sulla torre di misura anemometrica ST01 a 30 metri di quota sul livello del terreno ha un valore medio di 6.78 m/s, sulla base di 1 anno di misurazioni. Di solito si stima una distribuzione di Weibull, che approssimi i dati di velocità del vento. La figura 5 descrive la precisione della interpolazione "Weibull fit" dei dati di vento disponibili della torre ST01. La curva di Weibull è usata per

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

approssimare la distribuzione di energia del regime di vento, per semplificare i calcoli del modello di flusso. I valori in tabella 7 sono calcolati sulla base dei dati del vento misurata su ST01 a 30 metri di altezza dal suolo.

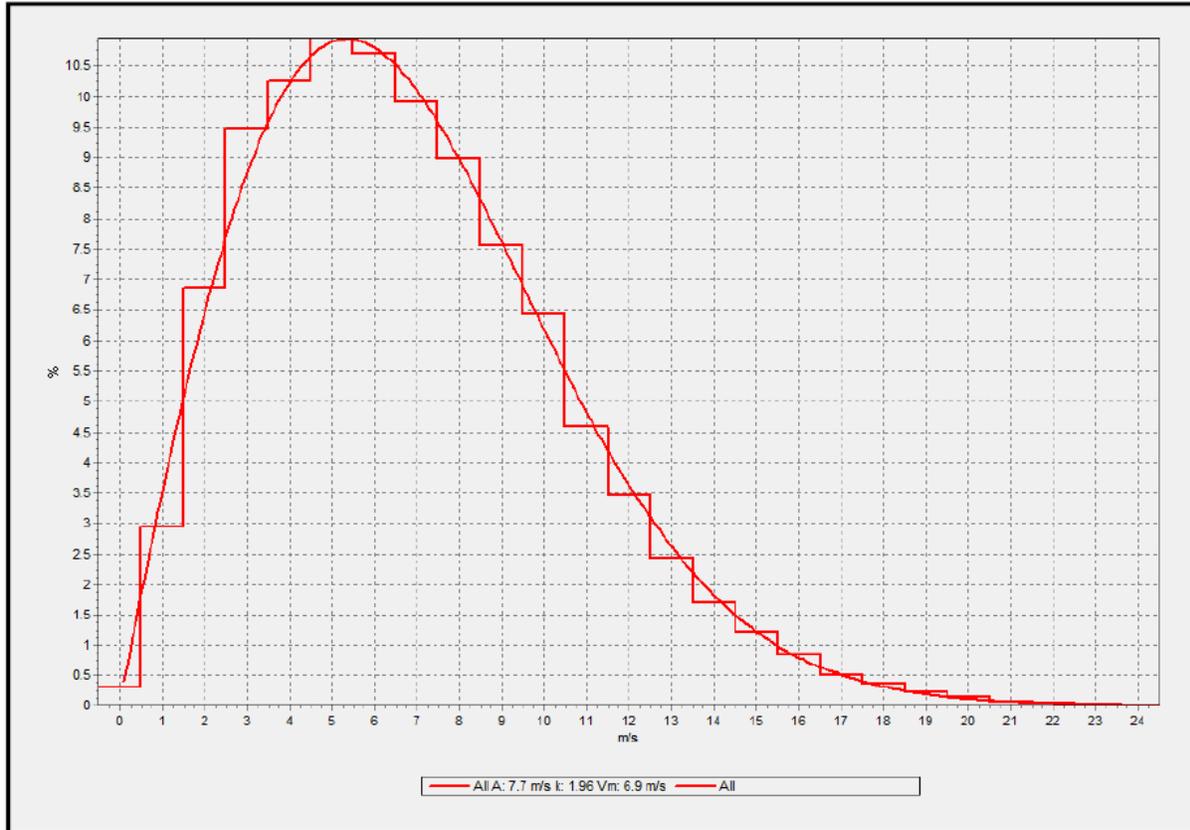


Figura 5: Distribuzione della frequenza e parametri Weibull (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

Questi valori calcolati non sono utilizzati nel calcolo della produzione effettiva, ma indicano quanto bene la curva di Weibull approssima la velocità media del vento e l'energia della distribuzione. Nel calcolo della produzione effettiva il best-fit della curva di Weibull è trovato per l'energia di ciascun settore eolico e la produzione o il regime di vento sono calcolati per ogni specifico settore. Il regime del vento osservato per la torre ST01 sul sito di Corona prima è il seguente:

Clima di vento misurato (Media di tutti i settori)		
Velocità media misurata	m/s	6.78
Velocità media da Weibull	m/s	6.85
discrepanza	%	1.02

Tabella 7: Regime del vento osservato.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

La scala di Weibull per settori ed unidirezionale, e i parametri di forma A e k, ottenuti tramite interpolazione dei dati del vento filtrati, possono essere osservati nella tabella 8, relativa alle frequenze per settore, ed in figura 5.

Sector	A parameter	k parameter	frequency	mean wind speed
Mean	7.731	1.9567	100	6.855
0-N	5.87	1.7998	6.282	5.22
1-NNE	4.5	1.7875	2.081	4.003
2-ENE	4.591	1.8734	2.97	4.076
3-E	4.367	2.4317	3.74	3.872
4-ESE	5.265	1.8697	3.912	4.674
5-SSE	8.122	2.1583	14.927	7.193
6-S	5.979	1.9007	6.181	5.306
7-SSW	6.515	1.7519	3.687	5.802
8-WSW	8.071	2.1158	5.95	7.149
9-W	8.78	2.3155	11.097	7.779
10-WNW	8.778	2.4928	22.325	7.788
11-NNW	9.057	2.0295	16.846	8.025

Tabella 8: Distribuzione della frequenza e parametri Weibull (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

6.4 VARIAZIONI GIORNALIERE

Come mostrato nella figura 6, la velocità media del vento cambia durante il giorno. Le minori velocità del vento (circa 5,9 m/s) sono state registrate di mattina, circa alle ore 9:00-10:00, mentre le maggiori velocità del vento (circa 7,8 m/s) sono state registrate durante il tardo pomeriggio, alle ore 18:00 circa. Anche la direzione del vento cambia durante il giorno, passando da venti prevalentemente occidentali per gran parte della giornata ad un vento di provenienza nord-nord-ovest tra le 11:00 e le 17:00.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

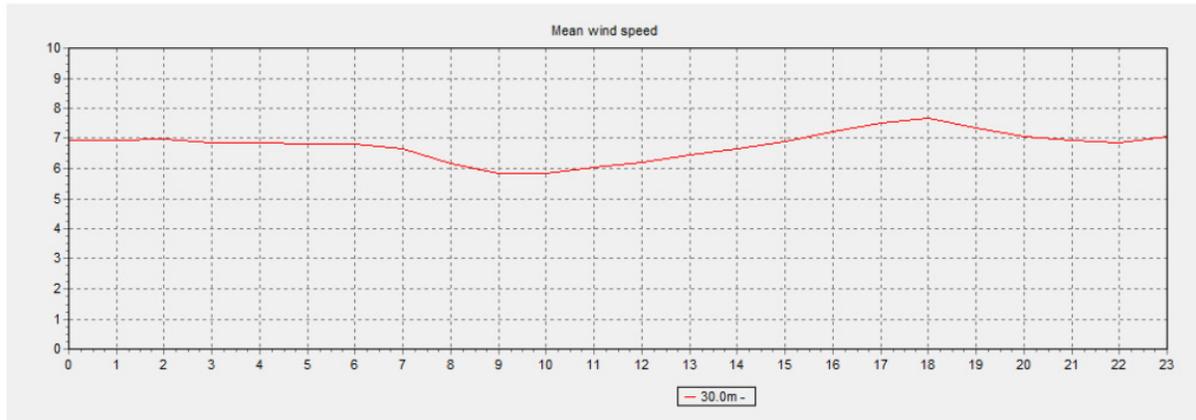


Figura 6: Variazione giornaliera della velocità del vento (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

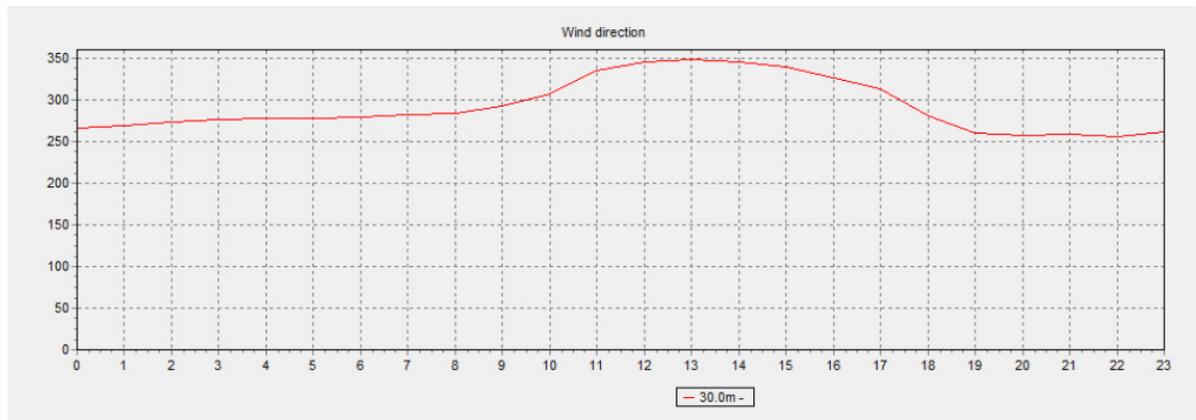


Figura 7: Variazione giornaliera della direzione del vento (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

6.5 VARIAZIONI STAGIONALI

La figura 8 mostra che la velocità media del vento cambia durante le stagioni. Le maggiori velocità del vento (circa 6,5 m/s) sono state registrate durante i mesi invernali e primaverili, da novembre a maggio. Anche la pur stabile direzione del vento mostra un andamento stagionale, con una significativa variazione della direzione da settembre a gennaio, quando il vento gira da nord-nord-ovest sino a direzioni meridionali.

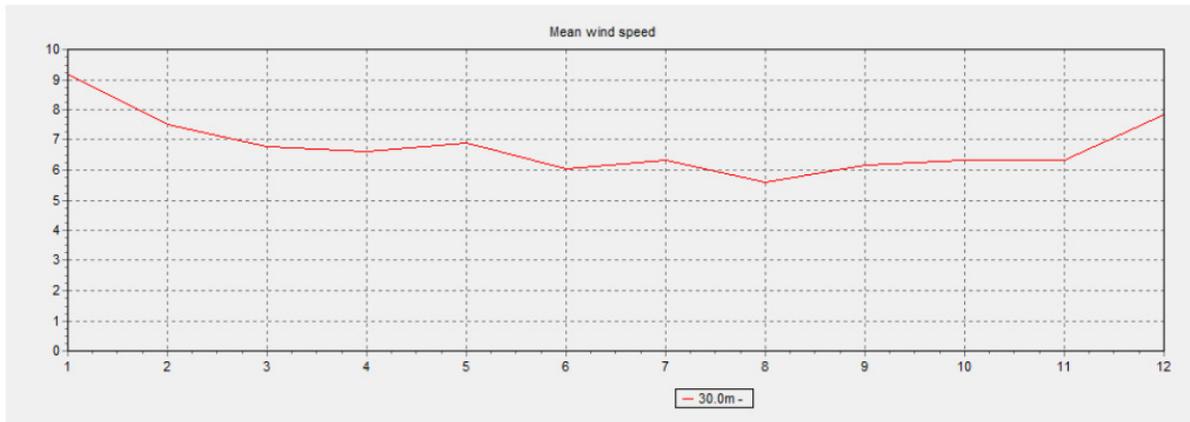


Figura 8: Variazione stagionale della direzione del vento (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

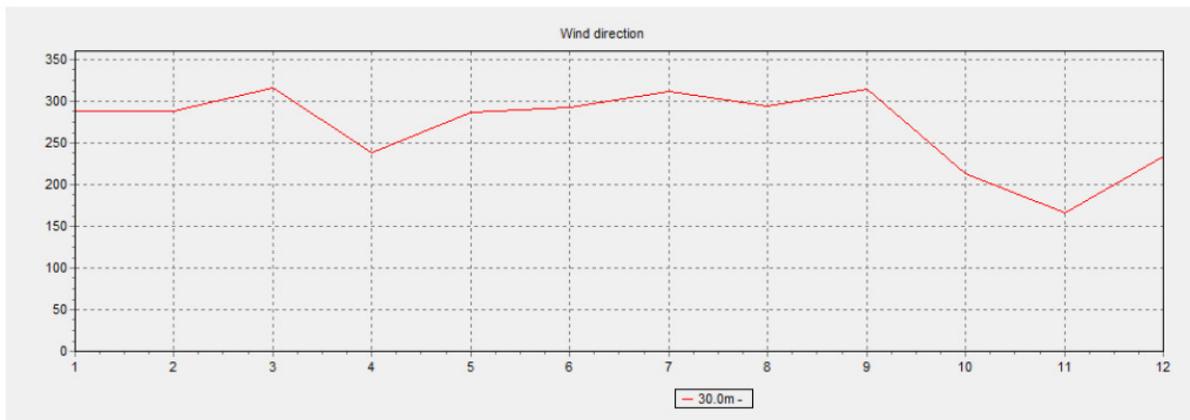


Figura 9: Variazione stagionale della direzione del vento (su base di dati filtrati relativi ad un anno di misurazioni della stazione anemometrica ST01 a 30 metri).

6.6 STIMA DI PRODUCIBILITA'

6.6.1 MODELLI DI FLUSSO E PRODUZIONE

La stima della produzione è stata basata sul modello di flusso del vento WASP, nella sua versione software. In particolare, il modello software utilizzato per calcolare la stima della produzione è il WASP 9.1/WindPRO 2.6. Questo modello calcola il flusso del vento attraverso il sito sulla base degli input dei dati di vento, delle informazioni al contorno e della descrizione della rugosità superficiale. Il calcolo del flusso del vento è stato effettuato per ciascuno dei 12 settori (ogni settore è di 30 gradi) sulla base di direzione del vento. Questo ha consentito di stimare i fattori di crescita del vento, che sono usati per correlare il vento in luoghi diversi del sito ai dati di vento disponibili. Ulteriori dettagli circa il modello WASP e la sua validazione sono enunciati da Troen e Petersen (Troen and E. L. Petersen, "European Wind Atlas", Risø National Laboratory, Danimarca, 1989). Il modello utilizza questi fattori per calcolare la stima della produzione. Tale stima include un calcolo delle perdite di scia del parco eolico sulla base dei seguenti parametri e modelli di scia. Il modello di scia utilizzato è il modello N.O. Jensen, con impostazioni standard WindPRO 2.6.

6.6.2 BASI DELLA STIMA DI PRODUCIBILITA'

Il calcolo della produzione di energia è stato effettuato sulla base delle seguenti considerazioni:

- Il calcolo sul sito di Corona Prima è stato effettuato utilizzando i dati di regime del vento della stazione anemometrica ST01, e considerando una densità media dell'aria di 1.145kg/m³. Il modello è stato basato sul presupposto che i dati di direzione del vento forniti siano corretti e relativi al nord vero.
- Il file della mappa quotata digitale ("090910 BBI HCL.wpo") è stato acquisito dall'ente SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). L'SRTM ha ottenuto i dati di quota su scala globale ad una risoluzione di 3 archi, consentendo di individuare le quote con un intervallo di griglia orizzontale pari a circa 90m (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>). Questa descrizione del profilo orografico è stata utilizzata per generare il file di statistica del vento e stimare l'energia.
- Nella stima della produzione è stata utilizzata una mappa sulla stima di rugosità ("ROUGHNESSLINE_090907 BBI Tricarico_0.wpo"). Questa è stata sviluppata tramite foto satellitari, ed è stata usata per generare una descrizione di rugosità fino ad un raggio di 20 km dal sito. Questa mappa della rugosità è stata usata per generare il file di statistica del vento e stima di energia.
- Per il calcolo della stima della produzione sono stati utilizzati dati di regime di vento rappresentativi. Per una descrizione più dettagliata di come questi dati sul regime del vento sono stati selezionati, si prega di far riferimento alle sezioni relative alle modalità e trattamento dei dati di vento. Per la modellazione del vento, propedeutica alla stima della produzione, è stata utilizzata la stazione anemometrica ST01.
- E' stato sviluppato ed utilizzato un file di statistica del vento con il nome di "IT ST 01 - WA - 30m - 1 anno - 30,00 m.wws", basato sui dati della stazione ST01.
- Il layout del sito è stato creato tenendo in considerazione sia la producibilità dei singoli aerogeneratori, sia la compatibilità ambientale e aspetti di tipo tecnico.

6.6.3 CURVA DI POTENZA

La curva di potenza teorica dell'aerogeneratore S97 a densità standard è illustrata nella tabella 9 ed in figura 10.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

1	Basic information	
	a). Turbine model	S97 DFIG
	b). Rated Power	2100 kW
	c). Cut-in wind speed	3.5 m/s
	d). Cut-out wind speed	20 m/s
	e). Turbine Class	IIIa
	f). Turbulence Index	10%
	g). Wind shear	0.2
	h). Blade conditions	Clean / No ice
2	Power curve data at standard air density 1.225 kg/m³	
	Wind speed - m/s	Electrical power - kW
	4	65
	5	210
	6	412
	7	678
	8	1,024
	9	1,439
	10	1,839
	11	2,042
	12	2,092
	13	2,100
	14	2,100
	15	2,100
	16	2,100
	17	2,100
	18	2,100
	19	2,100
	20	2,100

Tabella 9: Curva di potenza teorica dell'aerogeneratore S97 2.1 MW.

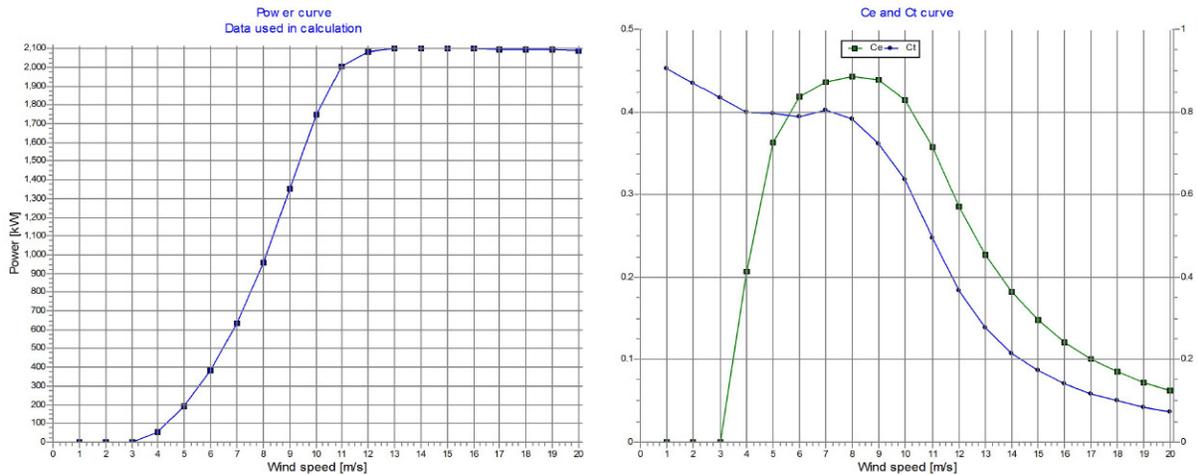


Figura 10: Grafico della curva di potenza teorica, Cp e Ct dell'aerogeneratore S97 2.1 MW.

Tale curva di potenza è stata in seguito corretta, utilizzando il metodo IEC64100 applicato da WindPro, per tenere conto della densità media dell'aria nel sito, pari a 1.145kg/m^3 .

6.6.4 LAYOUT PROPOSTO

La seguente figura mostra il layout d'impianto composto da 20 aerogeneratori di tipo S97 da 2.1 MW di potenza, ed altezza torre pari a 100 metri. Tale configurazione è stata ottenuta tenendo in considerazione sia la producibilità dei singoli aerogeneratori, sia la compatibilità ambientale ed aspetti di tipo tecnico.

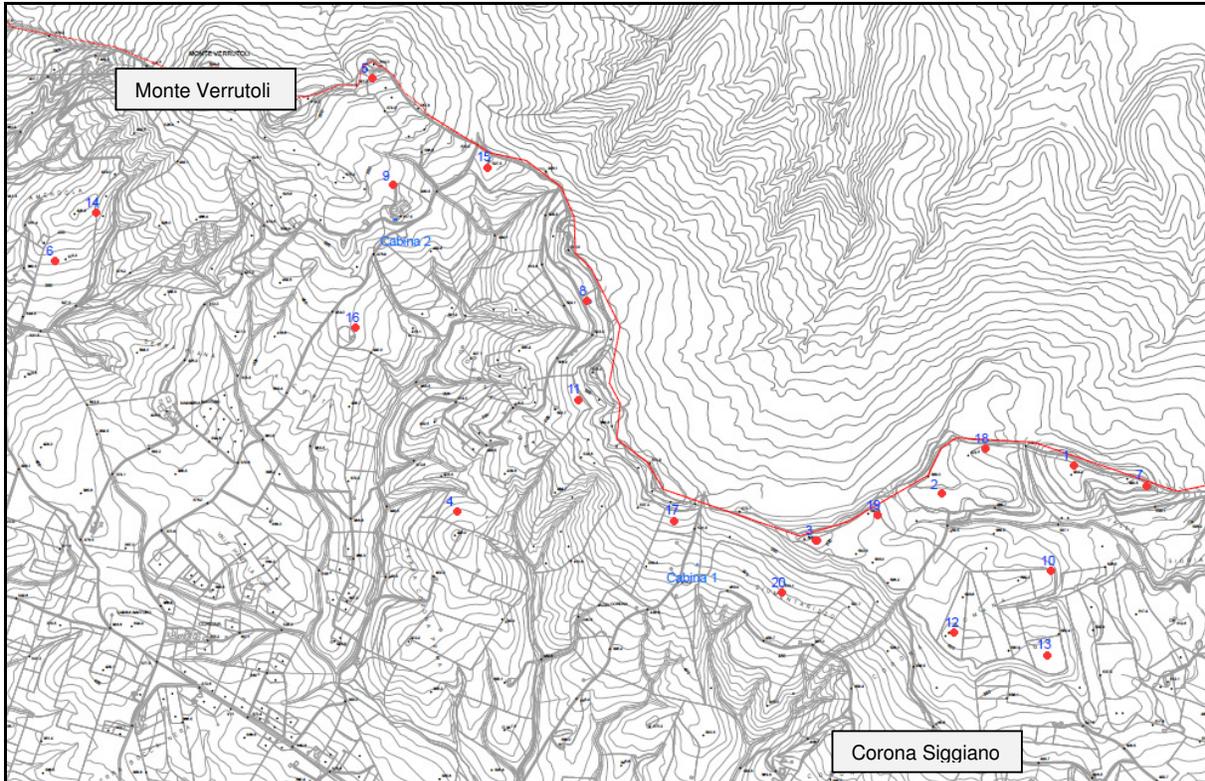


Figura 11: Layout del parco eolico di Corona Prima, comune di tricarico (MT).

Le coordinate dei singoli aerogeneratori, espresse nel sistema Gauss-Boaga, sono indicate nella tabella seguente:

Aerogeneratore	Coordinata N	Coordinata E
1	2624776	4504102
2	2624132	4503961
3	2623519	4503734
4	2621760	4503874
5	2621343	4506001
6	2619789	4505104

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

7	2625135	4504006
8	2622410	4504906
9	2621448	4505472
10	2624672	4503588
11	2622351	4504426
12	2624201	4503282
13	2624653	4503173
14	2619990	4505342
15	2621908	4505569
16	2621265	4504780
17	2622830	4503832
18	2624346	4504187
19	2623817	4503857
20	2623352	4503478

Tabella 10: coordinate aerogeneratori, in base al sistema di riferimento Gauss-Boaga.

6.6.5 STIMA DELLA RISORSA DEL VENTO

La figura seguente mostra la mappa della risorsa del vento. La griglia verde è settata ad 1 km, su sistema di riferimento UTM ED50 Zona 33.

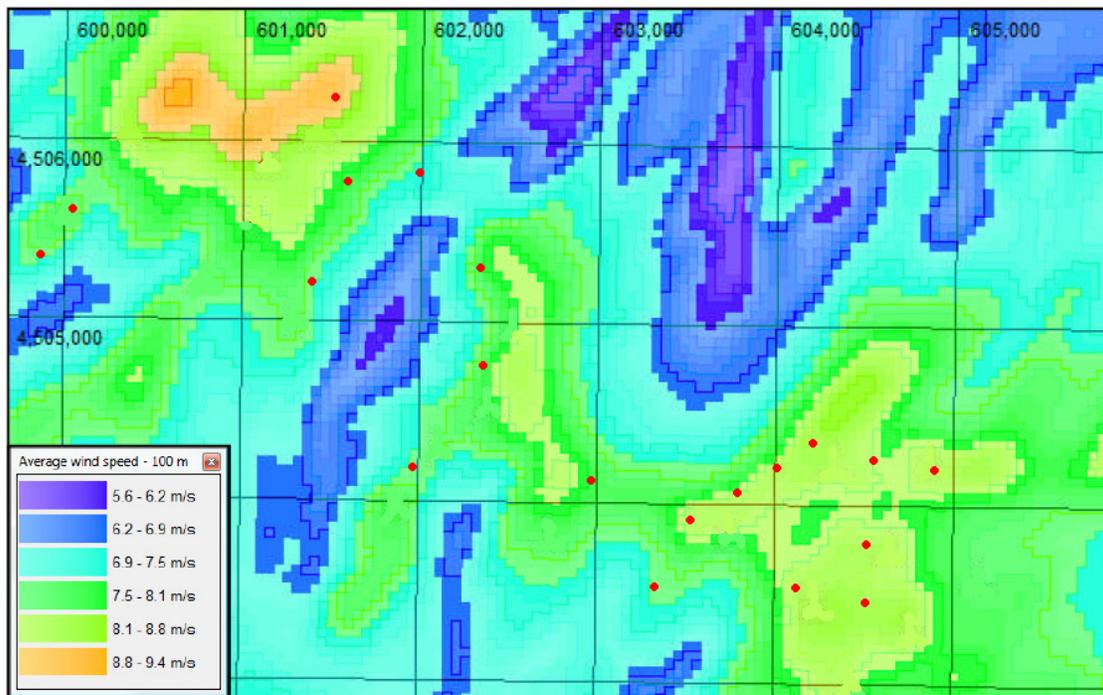


Figura 12: Mappa di ventosità a 100 metri, nel sito di Corona Prima.

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

La distribuzione del potere energetico del vento suddivisa per quadranti di direzione del vento è indicata nella seguente figura:

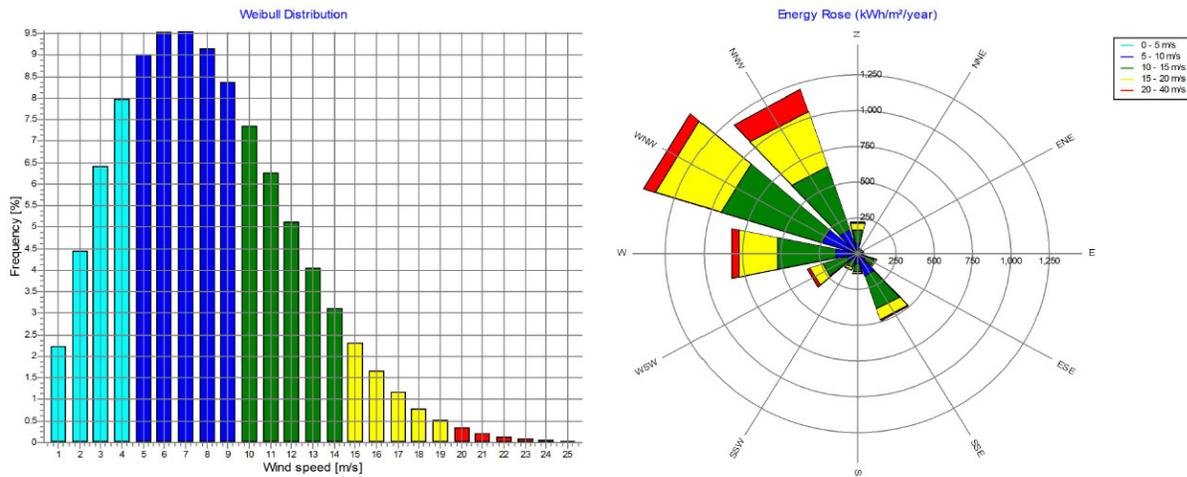


Figura 13: Distribuzione Weibull e rosa dell'energia del vento.

6.6.6 STIMA DELLA PRODUCIBILITA'

Utilizzando aerogeneratori di tipo S97, da 2,1 MW di potenza ognuno ed altezza torri pari a 100 metri, la produzione stimata complessiva del parco eolico (20 aerogeneratori, potenza totale 42 MW) risulta essere pari a circa 122 MWh annui, al netto delle perdite di scia, indicate nella seguente tabella sotto la voce Efficienza, e dell'incertezza complessiva sul dato di produzione risultante, stimata pari a circa il 20%.

Aerog.	Coordinata Nord	Coordinata Est	Efficienza	Energia	Energia - incertezza 26,3%	Ore equivalenti	Fattore di Capacità
N°	Gauss Boaga	Gauss Boaga	%	MWh/anno	MWh/anno	h/anno	%
1	2.624.776	4.504.102	93,9	8.641	6.368	3.033	35%
2	2.624.132	4.503.961	93,3	8.371	6.170	2.938	34%
3	2.623.519	4.503.734	95,1	8.902	6.561	3.124	36%
4	2.621.760	4.503.874	97,7	7.822	5.765	2.745	31%
5	2.621.343	4.506.001	97,7	9.734	7.174	3.416	39%
6	2.619.789	4.505.104	99,2	7.576	5.584	2.659	30%
7	2.625.135	4.504.006	94,5	8.455	6.231	2.967	34%
8	2.622.410	4.504.906	95,0	7.989	5.888	2.804	32%
9	2.621.448	4.505.472	96,5	8.175	6.025	2.869	33%
10	2.624.672	4.503.588	92,1	8.315	6.128	2.918	33%

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

11	2.622.351	4.504.426	95,3	8.349	6.153	2.930	33%
12	2.624.201	4.503.282	94,2	8.932	6.583	3.135	36%
13	2.624.653	4.503.173	93,3	8.648	6.374	3.035	35%
14	2.619.990	4.505.342	98,5	7.945	5.856	2.788	32%
15	2.621.908	4.505.569	93,8	7.172	5.286	2.517	29%
16	2.621.265	4.504.780	97,0	7.744	5.707	2.718	31%
17	2.622.830	4.503.832	95,7	8.248	6.079	2.895	33%
18	2.624.346	4.504.187	94,2	8.489	6.257	2.979	34%
19	2.623.817	4.503.857	93,6	8.596	6.335	3.017	34%
20	2.623.352	4.503.478	94,8	7.692	5.669	2.699	31%
TOTALE			94%		122.191	2.924	33%

Tabella 11: Produzione stimata del parco eolico, per aerogeneratori di tipo S97 2,1 MW ed altezza torri pari a 100 metri.

Si noti quanto segue:

- Le perdite di scia, indicate in tabella sotto la voce “Efficienza”, sono state incluse nei calcoli di produzione.
- Le perdite elettriche, di disponibilità e le altre perdite tecniche non sono state incluse nei calcoli.
- I calcoli sono stati eseguiti per una densità dell’aria media di 1,145 kg/m³. La densità dell’aria può variare giornalmente e durante le stagioni, e quindi, al fine di esemplificare i calcoli riguardanti la stima di produzione, è stato utilizzato un valore di densità dell’aria medio, all’altezza del mozzo di ogni aerogeneratore.
- I dati sono stati misurati ad una quota pari a 30 metri sul livello del suolo. Ciò comporta una incertezza sull’extrapolazione del dato sino alla quota di 100 metri dal livello del suolo e a 4,5 km di distanza dal luogo di registrazione dei dati anemometrici in un terreno moderatamente complesso ed in varie situazioni di rugosità. Di tali incertezze si è tenuto conto nella stima finale di producibilità, uguale al valore teorico stimato meno 20% di incertezze complessive stimate rispetto al dato finale di produzione.

6.7 PARAMETRI DI CARICO

Questa sezione indica i risultati dei calcoli dei parametri dei carichi aerodinamici, usati per determinare se particolari aerogeneratori, come l’S97 2,1MW con altezza torre pari a 100 metri di classe III, sono idonei ad essere installati nel sito di progetto.

6.7.1 MODELLO DI FLUSSO AERODINAMICO

I parametri dei carichi aerodinamici sono stati stimati utilizzando il modello aerodinamico software WAsP 9.1/ WindPRO 2.6 e WAsP Engineering 2.0. Questo modello aerodinamico calcola il flusso aerodinamico sul sito, sulla base di dati del vento misurati o della descrizione della velocità del vento, delle informazioni al contorno e della descrizione della rugosità del terreno.

Nel modello aerodinamico WAsP il calcolo del flusso di vento è stato eseguito per ognuno dei 12 settori (ogni settore di 30 gradi), sulla base delle direzioni del vento. Questo ha consentito di stimare i fattori di crescita del vento, che sono usati per correlare il vento in luoghi diversi del sito ai dati di vento disponibili. Il modello utilizza questi fattori per calcolare i parametri di Weibull ad altezza mozzo nel luogo di installazione di ogni aerogeneratore. Ulteriori dettagli circa il modello WAsP e la sua validazione sono enunciati da Troen e Petersen (Troen and E. L. Petersen, “European Wind Atlas”, Risø National Laboratory, Danimarca, 1989).

6.7.2 RISULTATI SUI PRINCIPALI PARAMETRI

Intensità di turbolenza ambientale (Turbulence Intensity - TI) - (>9,5 m/s):

Per il regime di vento nel sito, la velocità del vento, in ogni momento, oscilla intorno ad una velocità media di più lungo periodo. Queste fluttuazioni fuori dalla media sono trasferite dalla forza del vento in carichi fluttuanti sulla turbina. La turbolenza è caratterizzata da queste fluttuazioni rispetto al valore medio. I carichi sulla turbina sono correlati all'intensità della turbolenza, che è definita dal rapporto fra la deviazione standard e la velocità media misurata nel periodo in esame;

$$TI = \frac{\sigma}{V}$$

La deviazione standard dell'intensità di turbolenza e l'intensità media della turbolenza sono state stimate tramite il modello software WAsP Engineering 2.0. Il calcolo è stato eseguito per velocità del vento di 15 m/s, per 36 settori di 10 gradi.

Velocità del vento estreme 50-anni 10-minuti $V_{50\text{anni}, 10\text{min}}$

Le velocità del vento estreme 50-anni 10-minuti sono state stimate con il Metodo Peak-over-Threshold per estrarre gli eventi di tempeste indipendenti. Gli eventi di tempeste indipendenti così estratti, sono stati plottati su grafico utilizzando le posizioni Gumbel, e su queste posizioni si è eseguito il metodo dei minimi quadrati (LSQ) su queste posizioni. Si è utilizzato un solo anno completo di dati, al fine di rimuovere ogni variazione stagionale. L'adattamento Gumbel è illustrato in Figura 14.

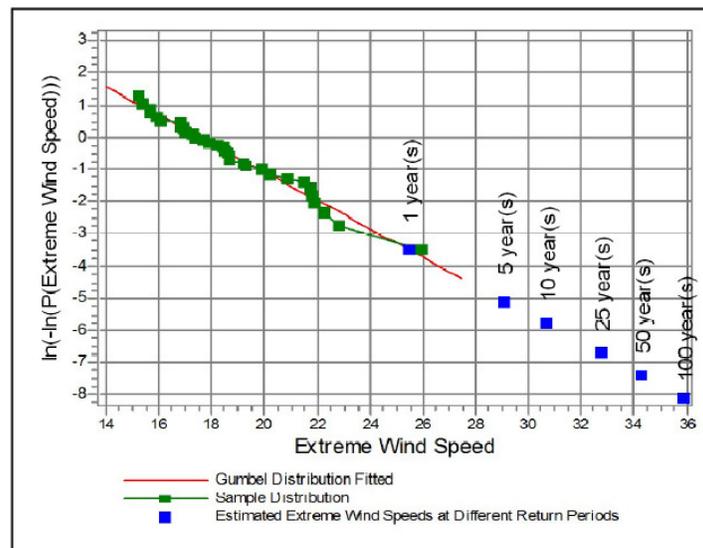


Figura 14: Distribuzione di Gumbel, basata su un anno di misurazioni su ST01.

L'estrapolazione tramite il metodo dei minimi quadrati fornisce la seguente stima di valori di venti estremi a 50 anni:

Anemometro:

$$V_{50\text{anni}, 10\text{min}} = 34,3 \text{ m/s}$$

Questa velocità del vento derivata dai dati di ST01 è stata in seguito estrapolata alle posizioni degli aerogeneratori utilizzando il modello di flusso aerodinamico WAsP e la direzione prevalente della velocità del vento estrema. La velocità del vento finale inclusa nel sottostante riassunto è quindi il massimo delle velocità del vento estreme, trovate in corrispondenza delle posizioni degli aerogeneratori, all'altezza del mozzo.

Peggior aerogeneratore: $V_{50\text{anni}, 10\text{min}} = 43,2 \text{ m/s}$

Il risultato è stato poi controllato con un secondo metodo indipendente. L'EWTS (European Wind Turbine Standard - J.W.M. Dekker, J.T.G. Pierik: European Wind Turbine Standards II, ECN-C—99-073, ECN Solar & Wind Energy, Paesi Bassi) suggerisce un legame tra il parametro k di Weibull e i venti estremi. Seguendo questa procedura, la velocità media del vento proveniente dal settore prevalente (11-NNO) di 8.03 m/s deve essere moltiplicato per un fattore di 4,15, risultante in una velocità del vento estrema nella posizione della torre di misura anemometrica all'altezza di misura di:

Anemometro: $V_{50\text{anni}, 10\text{min}} = 33,3 \text{ m/s}$

Estrapolando questo valore all'altezza del mozzo, si ottiene la seguente massima velocità del vento:

Peggior aerogeneratore: $V_{50\text{anni}, 10\text{min}} = 41,9 \text{ m/s}$

La seguente tabella riassume i risultati ottenuti:

Metodo	Anemometro $V_{50\text{anni}, 10\text{min}}$	Aerogeneratori $V_{50\text{anni}, 10\text{min}}$
Gumbel POT WindPRO 2.6	34,3	43,2
EWTS	33,3	41,9
Media	33,8	42,6

Tabella 12: Sintesi delle stime del vento estremo.

Per il calcolo sui carichi, è stato utilizzato il valore medio dei venti estremi di tutti i metodi utilizzati, pari a 42.6 m/s, ad una altezza al mozzo pari a 100.0m.

Una sintesi dei risultati ottenuti per i parametri di carico è indicata nella seguente tabella.

Parametri di carico aerodinamico – Tricarico:

Sintesi generale sito

- 1 Minima distanza fra turbine (in diametri rotore Ø) : 3.6
- 2 Quota del sito (min. e max. in metri s.l.m.) : da 370m a 600m
- 3 densità dell'aria, media annuale (kg/m³) : 1.145 kg/m³
- 4 temperatura limite massima (T99%) : 35.1 °C
- 5 Temperatura limite minima (T1%) : -3.9 °C

Sintesi carichi a fatica

- 6 Velocità del vento media ad altezza mozzo : 8.1 m/s
- 7 Fattore A Weibull ad altezza mozzo : 9.21 m/s
- 8 Fattore K Weibull medio ad altezza mozzo : 2.18

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
 Relazione specialistica – Studio Anemologico
 Elaborato di Progetto A.5

9 Intensità di turbolenza media "TI" (> 9.5 m/s) %	: 10.5
10 deviazione standard di TI media (> 9.5 m/s) %	: 3.0
11 Massimo angolo di "inflow", su direzione del vento principale	: ± 9.1° a 300°
12 Wind shear medio a quota rotore	: 0.23
Sintesi carichi estremi:	
13 velocità del vento estrema 50-anni/10-minuti ad altezza mozzo	: 42.6 m/s
14 Massima densità dell'aria	: 1.225 kg/m ³

Una sintesi delle assunzioni effettuate relativamente ai parametri climatici utilizzati ai fine del presente studio, è indicata nella seguente tabella:

Parametro N°	Parametri climatici del sito – Ulteriori commenti
1	Densità media dell'aria su tutte le posizioni degli aerogeneratori basata su estrapolazioni di densità, come indicate al paragrafo dedicato alla densità dell'aria.
2	Massima temperatura ad altezza mozzo basata sulla normale distribuzione delle temperature stimate nel sito [da T1% a T99%].
3	Minima temperatura ad altezza mozzo basata sulla normale distribuzione delle temperature stimate nel sito [da T1% a T99%].
4	Vento medio, per tutte le posizioni degli aerogeneratori per tutti i settore, calcolato utilizzando WAsP 9,1 nelle posizioni degli aerogeneratori, basato sul regime del vento stimato.
5	Parametro A di Weibull, per tutte le posizioni degli aerogeneratori per tutti i settore, calcolato utilizzando WAsP 9,1 nelle posizioni degli aerogeneratori, basato sul regime del vento stimato.
6	Parametro k di Weibull, per tutte le posizioni degli aerogeneratori per tutti i settore, calcolato utilizzando WAsP 9,1 nelle posizioni degli aerogeneratori, basato sul regime del vento stimato.
7	Massimo angolo di "inflow" per la principale direzione del vento di tutte le posizioni degli aerogeneratori calcolato utilizzando WAsP Engineering 2.0, basato un l'inflow ad altezza del mozzo ed utilizzando settori di 10 gradi.
8	Media fra tutte le posizioni degli aerogeneratori del "wind shear" medio di tutti i settore, calcolato utilizzando WAsP 9,1 fra l'estremità superiore del rotore degli aerogeneratori e l'estremità inferiore.
8	Media dell'intensità di turbolenza delle velocità del vento sopra 15 m/s.
9	Massima densità nella posizione degli aerogeneratori più ventosi, basata su estrapolazione dei parametri climatici di densità, come indicato nel paragrafo dedicato alla densità dell'aria.

Tavola 13: Ulteriori informazioni relative ai parametri climatici del sito.

6.8 INCERTEZZA

L'incertezza in ogni stima di una risorsa eolica dipende molto dal regime di vento locale, dalla topografia, dal sistema di raccolta dati, da eventuali dati di misura di lungo periodo, dalle limitazioni del software utilizzato per la stima, ecc

I seguenti parametri dovrebbero essere considerati nella stima dell'incertezza nel calcolo della risorsa del vento:

- Precisione nel posizionamento degli anemometri e delle turbine, e la quota delle torri di misura.
- Ostacoli vicini alle torri di misura.
- Montaggio degli anemometri.

- La calibrazione degli strumenti di misura - in particolare degli anemometri.
- Periodi con dati di vento mancanti.
- La capacità del modello di flusso applicato di fare previsione sui dati misurati.
- Differenza di quota tra le torri di misura e l'altezza al mozzo delle turbine (importante in terreni molto complessi).
- Distanza delle turbine eoliche dalle torri di misura (importante in terreni molto complessi).
- Precisione nella mappatura della rugosità sul sito e in prossimità delle torri di misura.
- Mappe quotate indicanti una superficie abbastanza grande al fine di una soddisfacente simulazione al computer.
- Intervalli delle quotature delle mappe.
- Ostacoli vicini alle turbine eoliche.
- Lunghezza e variazione dei dati del vento.
- Livello di correlazione fra i dati di vento registrati in loco, ed eventuali dati di riferimento di lungo periodo.

Inoltre, nella stima dell'incertezza per il calcolo della produzione energetica annua stimata, dovrebbero essere considerati i seguenti parametri aggiuntivi:

- Curva di potenza.
- Variazioni di densità dell'aria.
- Perdite di scia.

L'incertezza totale su una stima di produzione energetica annua è normalmente compresa fra il 10 ed il 30 per cento, relativamente alla deviazione standard. Ai fini del presente studio, è stato considerato un valore di incertezza pari al 26,3 per cento della produzione energetica annua stimata, come evidenziato nella seguente figura, a destra:

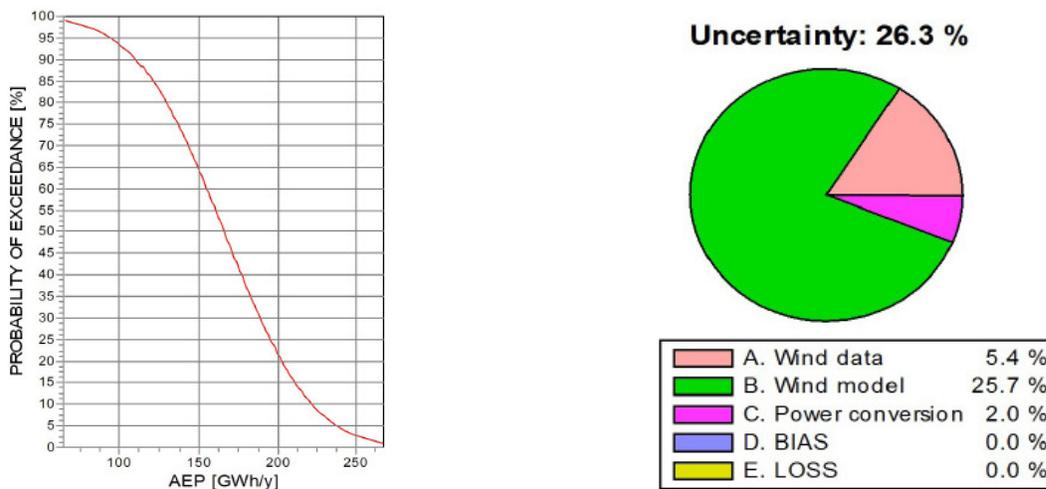


Figura 15: Valori di incertezza stimati, e valori probabilistici sulla produzione.

Ulteriori dati probabilistici di produzione, sono indicati nella seguente tabella:

Adest srl
Parco Eolico Corona Prima, Tricarico (Mt)
Relazione specialistica – Studio Anemologico
Elaborato di Progetto A.5

		P50	P84	P90
NET AEP	[GWh/y]	165.8	122.4	109.9
Capacity factor	[%]	45.1	33.3	29.9
Full load hours	[h/y]	3,948	2,915	2,616

Tabella 14: Ulteriori valori di stime di producibilità, con probabilità pari a P50, P84 e P90.