

TORRE GIULIA WIND S.r.l.

Corso Venezia 37 – 20121 Milano

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL COMUNE DI CERIGNOLA (FG) IN LOCALITA' "TORRE GIULIA"



Tecnico

ing. Danilo Pomponio

Via Napoli, 363/I - 70132 Bari - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361 - fax (+39) 0805619384

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
OHSAS 18001:2007
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

Collaborazioni

ing. Milena Miglionico
ing. Antonio Crisafulli
ing. Tommaso Mancini
ing. Giovanna Scuderi
ing. Dionisio Staffieri
ing. Giuseppe Federico Zingarelli
geom. Francesco Mangino
geom. Claudio A. Zingarelli

Responsabile Commessa

ing. Danilo Pomponio



ELABORATO	TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA		
V12	VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	19045	D		
		CODICE ELABORATO			
		DC19045D-V12			
REVISIONE	Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA		
00		-	-		
		NOME FILE	PAGINE		
		DC19045D-V12.doc	11 + copertina		
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	31/05/19	Emissione	Crisafulli	Miglionico	Pomponio
01					
02					
03					
04					
05					
06					

SOMMARIO

1	Oggetto	2
2	Caratteristiche generali del campo eolico.....	2
3	Caratteristiche dell'aerogeneratore	3
4	Caratterizzazione del sito	5
4.1	Orografia	5
4.2	Rugosità	6
5	Strumentazione di misura	7
6	Metodo di calcolo della producibilità elettrica dell'aerogeneratore	8
7	Considerazioni e risultati dei calcoli di producibilità.....	10
8	Allegato: Report di calcolo WindPro	11

1 OGGETTO

Oggetto della presente è la valutazione della risorsa eolica e stima della producibilità elettrica relativa ad un nuovo impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica della potenza di 54,6 MW, equivalenti all'installazione di n. 13 aerogeneratori della potenza nominale pari a 4,2 MW, sito nel Comune di Cerignola (FG), in località "Torre Giulia" e delle opere connesse anche nel comune di Stornara (FG).

Il progetto prevede l'installazione di n. 13 generatori di nuova generazione della potenza di 4,2 MW ciascuno, per una potenza totale di 54,6 MW.

Gli impianti ed opere da eseguire sono quelli sinteticamente sotto raggruppati:

- rete di distribuzione interna a MT (30 kV) in cavo interrato per la interconnessione degli aerogeneratori costituenti il parco eolico e per la connessione degli stessi alla sottostazione di trasformazione MT/AT;
- sottostazione di trasformazione MT/AT sita nei pressi del punto di consegna AT;
- raccordo AT (150 kV) in cavo aereo dalla sottostazione di trasformazione al punto di consegna AT nella futura stazione TERNA da realizzare;
- rete di monitoraggio in fibra ottica tra le torri eoliche e la sottostazione.
- impianti di messa a terra.
- opere civili per l'installazione e l'esercizio del parco eolico nella nuova configurazione.

2 CARATTERISTICHE GENERALI DEL CAMPO EOLICO

L'impianto eolico per la produzione di energia elettrica avrà le seguenti caratteristiche generali:

- n° 13 aerogeneratori della potenza massima di circa 4,2 MW ciascuno ed avente generatore di tipo asincrono, della VESTAS modello V150, del diametro del rotore pari 150 m, altezza mozzo pari a 105 m, per un'altezza massima al tip (punta della pala) pari a 180 m, comprensivi al loro interno di cabine elettriche di trasformazione BT/MT;
- rete elettrica interrata a 30 kV per l'interconnessione tra gli aerogeneratori e la sottostazione;
- n° 1 sottostazione elettrica di trasformazione MT/AT nei pressi della nuova stazione elettrica (SE) Terna S.p.A. a 150 kV da realizzare nel Comune di Stornara (punto di consegna previsto);
- raccordo AT 150 kV in cavo aereo tra la sottostazione e il punto di consegna nella futura sottostazione TERNA, da ubicare nel Comune di Stornara;
- ♦ rete telematica di monitoraggio in fibra ottica per il controllo dell'impianto eolico mediante trasmissione dati via modem o satellitare.

3 CARATTERISTICHE DELL'AEROGENERATORE

In particolare, trattasi di aerogeneratori trifase con potenza massima di 4200 kW e tensione nominale di 690 V.

Le pale della macchina sono fissate su un mozzo e nell'insieme costituiscono il rotore che ha diametro massimo di 150 m: il mozzo a sua volta viene collegato ad un sistema di alberi e moltiplicatori di giri per permettere la connessione al generatore elettrico, da cui si dipartono i cavi elettrici di potenza, in bassa tensione verso il trasformatore BT/MT.

Tutti i componenti su menzionati, ad eccezione del rotore, sono ubicati in una cabina, detta navicella, la quale a sua volta, è posta su un supporto cuscinetto in modo da essere facilmente orientabile secondo la direzione del vento. L'intera navicella (realizzata in materiale plastico rinforzato con fibra di vetro) viene posta su di una torre tronco-conica tubolare.

Oltre ai componenti prima detti, vi è un sistema di controllo che esegue diverse funzioni:

- ✓ il controllo della potenza, che viene eseguito ruotando le pale intorno al proprio asse principale in maniera da aumentare o ridurre la superficie esposta al vento, in base al profilo delle pale;
- ✓ il controllo della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad inseguire la direzione del vento, ma che può essere anche utilizzato per il controllo della potenza;
- ✓ l'avviamento della macchina allorché è presente un vento di velocità sufficiente, e la fermata della macchina, quando vi è un vento di velocità superiore a quella massima per la quale la macchina è stata progettata.

L'intera navicella viene posta su di una torre avente forma conica tubolare. La velocità del vento di avviamento è la minima velocità del vento che dà la potenza corrispondente al massimo rendimento aerodinamico del rotore. Quando la velocità del vento supera il valore corrispondente alla velocità di avviamento la potenza cresce al crescere della velocità del vento.

La potenza cresce fino alla velocità nominale e poi si mantiene costante fino alla velocità di *Cut-out wind speed* (fuori servizio).

Per ragioni di sicurezza a partire dalla velocità nominale la turbina si regola automaticamente e l'aerogeneratore fornirà la potenza nominale servendosi dei suoi meccanismi di controllo.

L'aerogeneratore si avvicinerà al valore della potenza nominale a seconda delle caratteristiche costruttive della turbina montata: passo fisso, passo variabile, velocità variabile, etc.

Tabella 1 – Scheda tecnica dell'aerogeneratore tipo

ROTORE	Diametro max	150 m
	Area spazzata max	17.671 m ²
	Numero di pale	3
	Materiale	GRP (CRP) materiale plastico rinforzato con fibra di vetro
	Velocità nominale	13.6 giri/min
	Senso di rotazione	orario
	Posizione rotore	Sopra vento
TRASMISSIONE	Potenza massima	4.200 kW
SISTEMA ELETTRICO	Tipo generatore	Asincrono a 4 poli, doppia alimentazione, collettore ad anelli
	Classe di protezione	IP 54
	Tensione di uscita	690 V
	Frequenza	50 Hz
TORRE IN ACCIAIO	Altezza al mozzo (in ogni caso non si supererà l'altezza complessiva di 150 m)	105 m
	Numero segmenti	3
SISTEMA DI CONTROLLO	Tipo	Microprocessore
	Trasmissione segnale	Fibra ottica
	Controllo remoto	PC-modem, interfaccia grafica

4 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

4.1 Orografia

Il sito di interesse (in località Torre Giulia) si trova a circa 5 km in direzione Nordovest rispetto al centro abitato di Cerignola. Le quote altimetriche dell'area variano orientativamente tra 60 e 100 m s.l.m., con una orografia piuttosto piana e uniforme, caratterizzata dalla quasi assenza di alture e avvallamenti. L'intera zona è caratterizzata quindi da una ottima ventosità, come in tutta la piana del Foggiano.

Di seguito alcune immagini rappresentative delle caratteristiche orografiche e di uso del suolo.

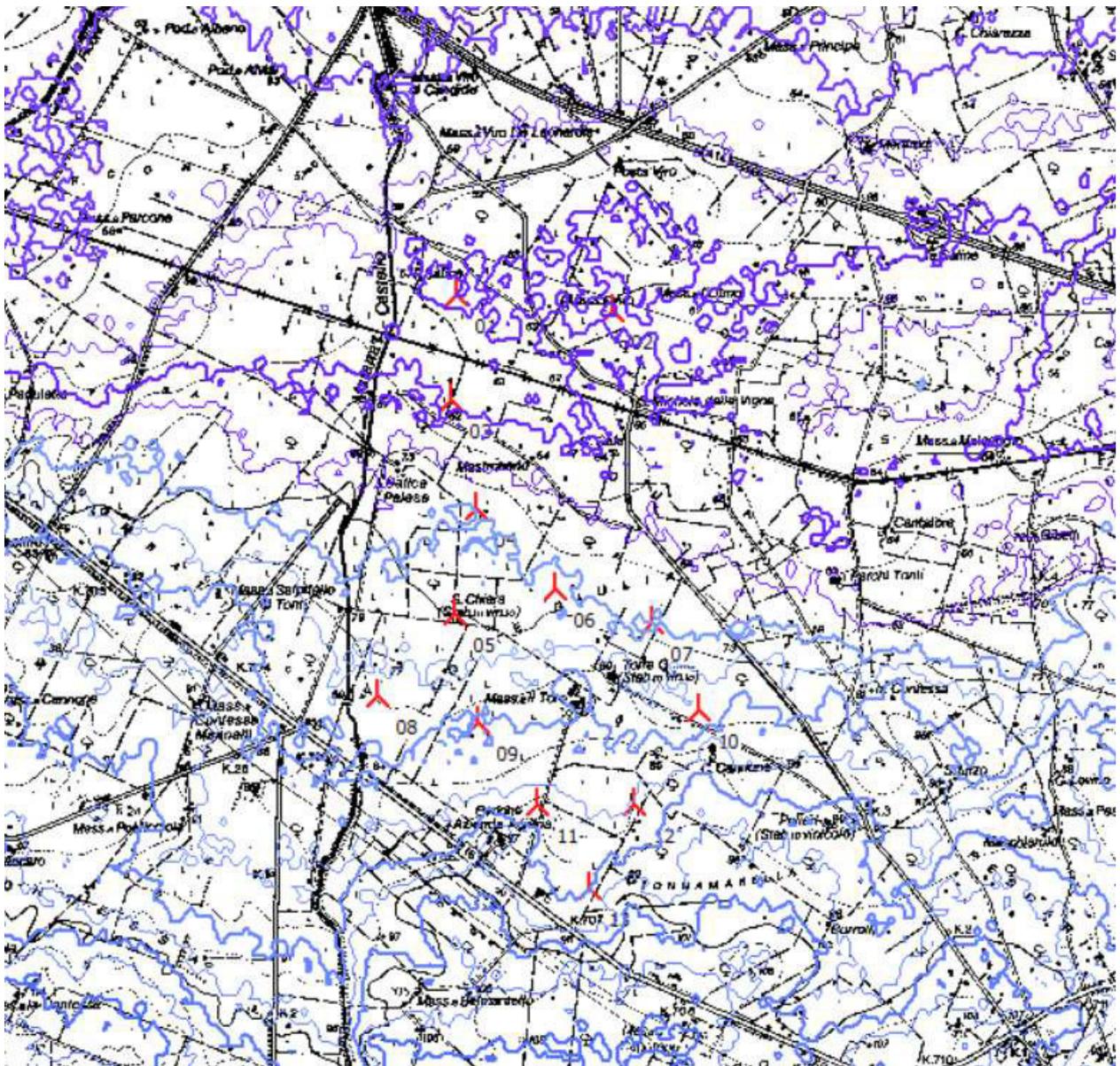


Figura 1 - Orografia del sito di installazione del parco eolico

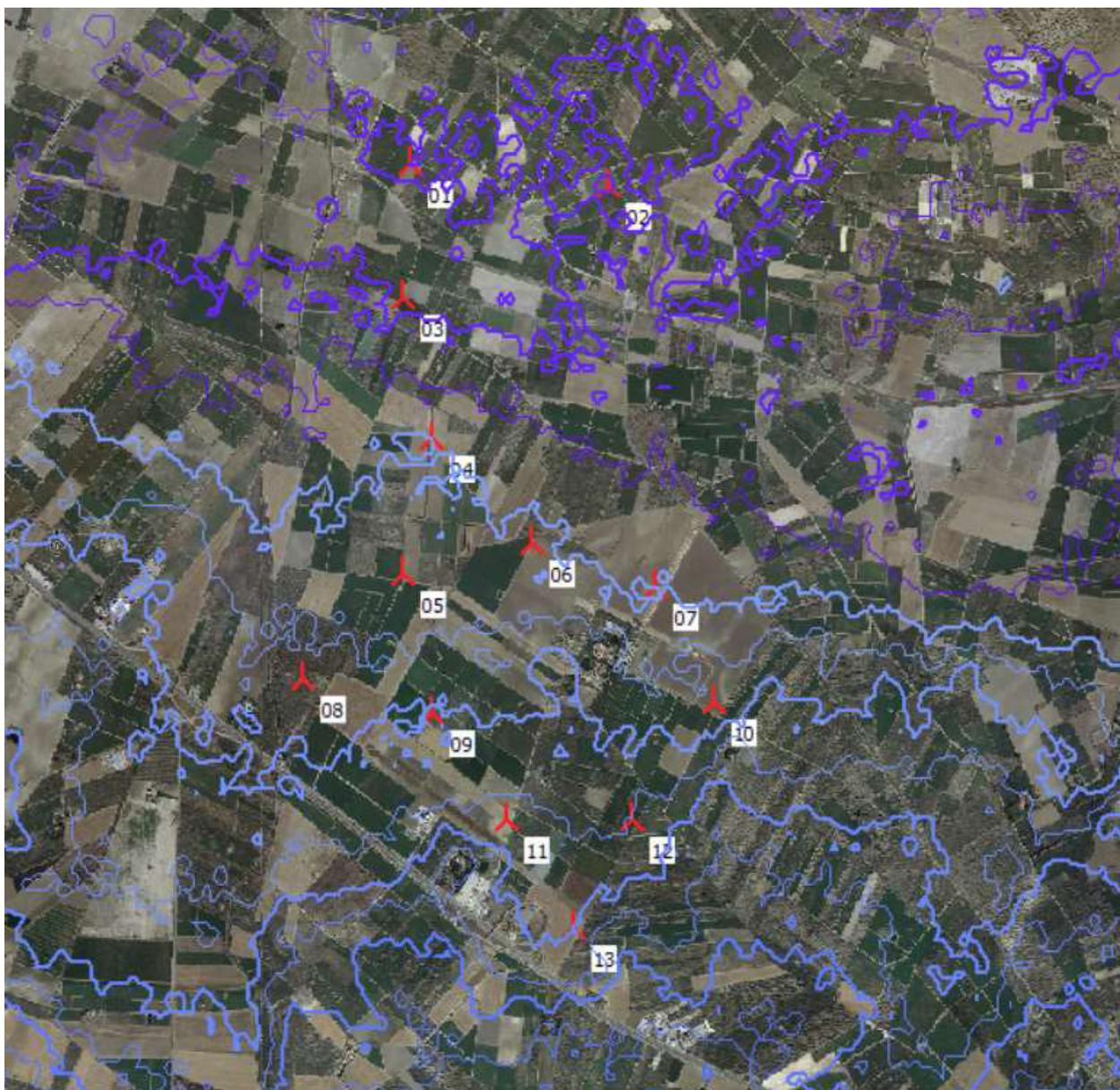


Figura 2 – Ubicazione del parco eolico su ortofoto, con curve di livello.

Le caratteristiche orografiche del sito lasciano presupporre una buona esposizione ai venti, condizionati dalla conformazione della piana, con eventuali correnti provenienti dalla costa a nord e nordest.

4.2 Rugosità

Tutta l'area è caratterizzata dalla presenza di vasti seminativi, con consistente presenza di uliveti e vigne. Nell'ottica di elaborare uno studio preliminare, nel documento fornito è stata assunta una rugosità di base di classe 1,2 perimetrando però le zone alberate e soprattutto i centri abitati, assegnando valori di rugosità più elevati, compresi tra 2 e 3. Infatti in genere l'area di influenza

dei valori di rugosità, ai fini delle stime anemologiche, è pari ad un raggio di circa 10 km dal sito di interesse.

5 STRUMENTAZIONE DI MISURA

La stazione anemometrica utilizzata per le valutazioni anemologiche del sito è installata a circa 10 km a ovest del sito di installazione dell'impianto eolico, nel comune di Orta Nova. Il punto di installazione si trova ad una quota intorno a 85 m s.l.m., del tutto paragonabile a quella del parco eolico.

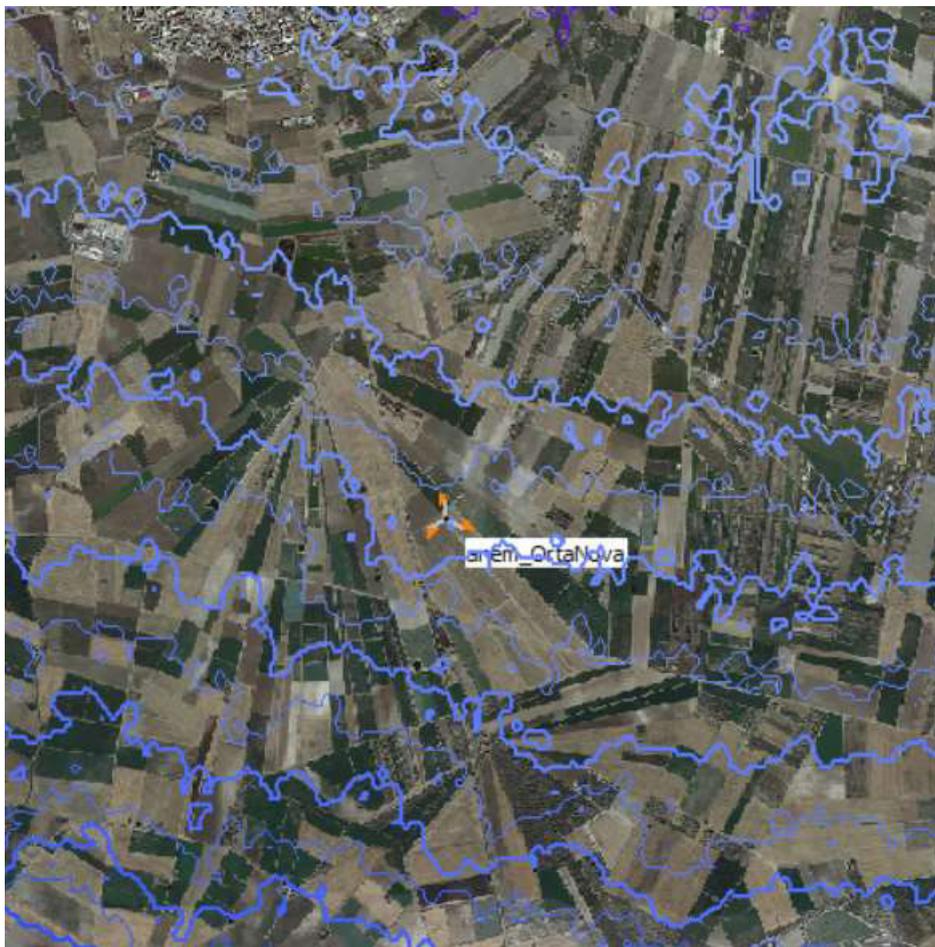


Figura 3 – Inquadramento dell'ubicazione dell'anemometro su ortofoto

Come si può notare dall'ortofoto, per quanto riguarda la rugosità il sito dell'anemometro ha caratteristiche del tutto analoghe a quelle dell'impianto eolico in oggetto.

Anemometro Orta Nova	
Località	"Grassano delle Fosse
Quota s.l.m.	85 m
Anemometri	50 m, 40 m, 30 m
Banderuole	50 m, 30 m
Periodo di osservazione	Novembre 2009 – ottobre 2010

Gli anemometri risultano dotati di relativi certificati di calibrazione.

La finestra temporale di osservazione rispetta le variazioni stagionali e permette una corretta valutazione delle caratteristiche del sito, oltre che l'estrapolazione del vento imperturbato ("geostrofico").

Come ulteriore validazione dei dati, sono state consultate le mappe dell'Atlante Eolico interattivo curato da RSE (Ricerca Sistema Energetico, organo del GSE), che riportano per il sito in oggetto, velocità medie di circa 6-7 m/s ad una altezza di 100 m dal suolo, ed una corrispondente producibilità specifica approssimata pari a circa 2500 ore equivalenti annue.

6 METODO DI CALCOLO DELLA PRODUCIBILITÀ ELETTRICA DELL'AEROGENERATORE

Le elaborazioni, a partire dai dati di vento registrati, sono state svolte mediante l'uso del software WindPro 3.1, che si avvale a sua volta del modello di calcolo WASP; questo permette di elaborare, a partire dai dati rilevati da un anemometro e da informazioni relative alle specifiche puntuali dell'area analizzata, il vento *geostrofico*, ovvero quel vento che si realizza alla sommità dello strato limite atmosferico, dove il flusso risulta imperturbato dai fenomeni di attrito dovuti alla superficie terrestre.

L'analisi della velocità del vento geostrofico costituisce il percorso obbligato al fine di studiare i fenomeni eolici dell'area in oggetto. La stima della distribuzione della velocità del vento a livello geostrofico permette infatti di ricostruire, sempre utilizzando il modello di calcolo WASP, la distribuzione della velocità al suolo e a vari livelli, in funzione di vari valori di rugosità attribuibili al territorio, ovvero delle mappe climatologiche dei venti caratteristici. Ciò si ottiene in pratica applicando proprio al vento geostrofico le caratteristiche orografiche, di rugosità e le caratteristiche puntuali dell'area di studio.

Per rendere più attendibili le elaborazioni statistiche, è stata effettuata una correlazione del campione di dati registrati in circa un anno solare, con degli archivi decennali accessibili attraverso

il software WindPro, consentendo di correggere la serie di dati applicando dei coefficienti che tengono conto delle tendenze su banche dati a lungo termine.

Di seguito i grafici rappresentativi della statistica anemologica applicata ad un punto baricentrico dell'area di studio. I venti prevalenti sono nel quadrante nordovest, ma i venti provenienti dal quadrante sudovest, seppur meno frequenti, hanno una potenzialità energetica anche superiore a quelli prevalenti.

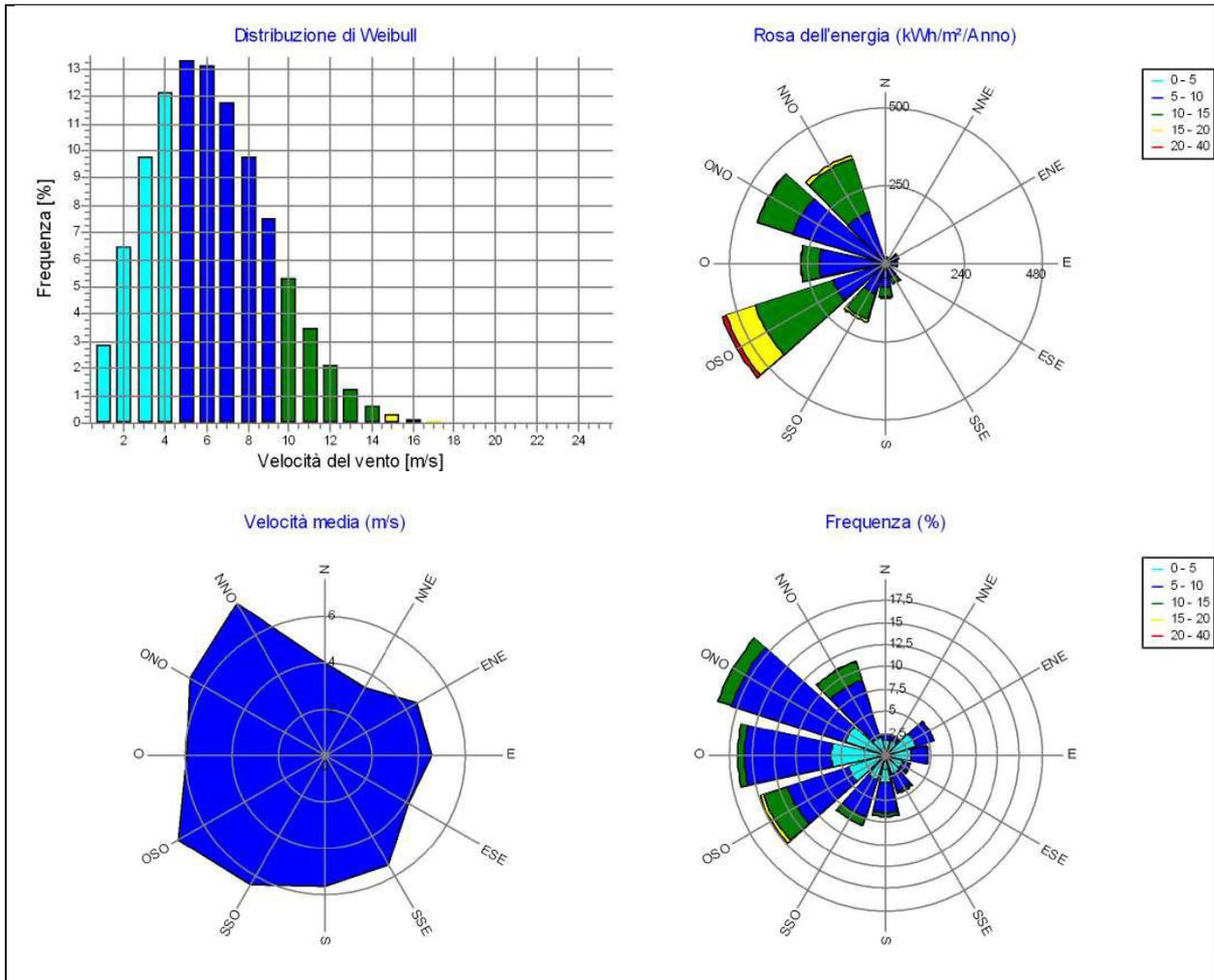


Figura 4 Grafici relativi alla statistica anemologica applicata al sito di installazione del parco eolico in oggetto, elaborati mediante software WindPro 3.1

A questo punto, una volta inserita nel modello di calcolo la curva di potenza relativa all'aerogeneratore scelto e i valori assunti dal coefficiente C_t (*thrust coefficient*), è stata calcolata la **producibilità annua** di energia elettrica dell'impianto in particolare con probabilità P50% (ossia valori di produzione annua con probabilità del 50% di essere superati), tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- le previsioni legate alla meteorologia sono basate su considerazioni probabilistiche, ed in qualsiasi caso non potranno dare risultati certi al 100%;
- il risultato di una modellizzazione di un fenomeno reale dipende fortemente dal modo di tradurre in algoritmi dei fenomeni complessi, oltre che dalla accuratezza dei dati inseriti come input e da come vengono scelte alcune costanti;

è utile quindi far riferimento ad uno scenario di "peggiore ipotesi", nella quale siano stati inseriti dei fattori di sicurezza, o incertezza, tali da ridurre il valore calcolato ad un limite inferiore di producibilità, nel caso in oggetto una riduzione del 10%, tenendo conto di:

- incertezze legate al calcolo dell'energia elettrica generata da un aerogeneratore (curva di potenza garantita generalmente fino al 97%);
- incertezza legata alla disponibilità tecnica delle macchine (97%);
- incertezza sulla qualità dei dati anemometrici;
- incertezza sui dati misurati ad un'altezza diversa da quella del mozzo dell'aerogeneratore (estrapolazione verticale);
- incertezze legate alle condizioni di ventosità nelle aree adiacenti al palo anemometrico (estrapolazione orizzontale);
- incertezza sul modello di simulazione WAsP;
- incertezza legata alla complessità orografica del territorio.

La simulazione mediante software WindPro 3.1 porta in conto anche le perdite che si hanno a causa della vicinanza tra le turbine, a causa delle modifiche provocate dalla presenza di queste nella vena fluida che le attraversa; queste perdite, definite come perdite per effetto scia, sono dovute al fatto che alle spalle del rotore la velocità del vento risulta rallentata, in quanto il rotore ha catturato parte dell'energia cinetica per trasformarla in energia meccanica. Venendo a contatto con la corrente indisturbata poi, il flusso di vento riprende poco a poco le proprie caratteristiche di velocità, quindi maggiore è la distanza tra le turbine migliore è il rendimento.

7 CONSIDERAZIONI E RISULTATI DEI CALCOLI DI PRODUCIBILITÀ

Il sito scelto per l'installazione del parco eolico presenta venti prevalenti, in termini di frequenza e velocità media, provenienti dal quadrante Ovest-Nordovest, con la presenza di venti con alto potenziale energetico anche nel quadrante Sudovest.

Per l'aerogeneratore scelto, particolarmente performante grazie all'ampio rotore (**Vestas V150** 4,2 MW con diametro rotorico 150 m, altezza al mozzo 105 m), si stima una producibilità annua lorda pari pari a circa 2890 ore equivalenti (ossia 2890 MWh/MW per anno), o pari a circa **2600 ore equivalenti** con riduzione del 10% per le approssimazioni cautelative descritte nei paragrafi precedenti.

Naturalmente questi risultati preliminari sono lievemente variabili in funzione dello stato di evoluzione tecnologica del generatore scelto, al momento dell'acquisto.

8 ALLEGATO: REPORT DI CALCOLO WINDPRO

Si riporta in allegato il report di calcolo di producibilità mediante software WindPro 3.1.

PARK - Risultato principale

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02

Modello di scia N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Configurazione del calcolo

Modalità di calcolo densità dell'aria: Individuale per ciascuna WTG
 Risultato per WTG, all'altezza del mozzo: 1,199 kg/m³ a 1,202 kg/m³
 Densità dell'aria rispetto a quella standard 97,9 % a 98,2 %
 Altezza del mozzo s.l.m. 165,0 m a 195,0 m
 Temperatura media annuale al mozzo 14,5 °C a 14,7 °C
 Pressione alle WTG 990,1 hPa a 993,6 hPa

Parametri del modello di scia

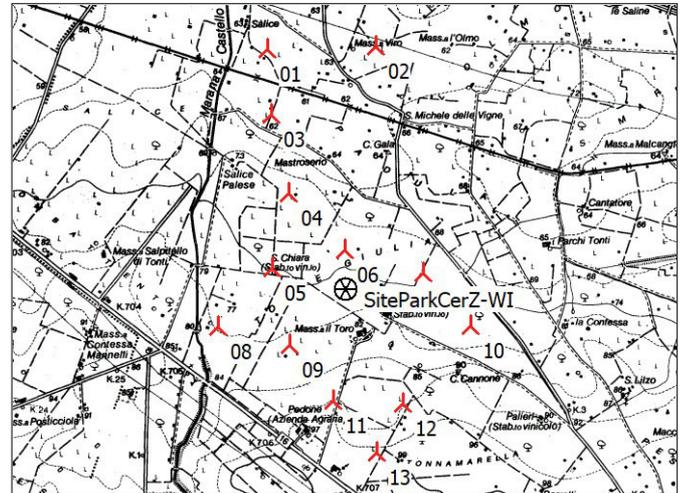
Wake decay constant 0,075 HH:50m Mixed farmland

Displacement heights from objects

Impostazioni calcolo scie
Angolo [°] **Velocità del vento [m/s]**
 inizio fine passo inizio fine passo
 0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Statistica del Vento IT_OrtaNova-MCP-WindIndex-ERA5_Zapponeta.wvs

Versione WAsP WAsP 10 RVEA0151.dll 1, 5, 5, 0



▲ Nuova WTG

⊗ Dati di Sito

Risultati chiave a 105,0 m sopra il terreno

Terrain	UTM (north)-WGS84 Zona: 33			Tipo	Energia del vento	Velocità media	Rugosità equivalente
	Easting	Northing	Nome				
SiteParkCerZ-WI	570.731	4.572.698	SiteParkCerZ-WI	WAsP (WAsP 10 RVEA0151.dll 1, 5, 5, 0)	[kWh/m ²]	[m/s]	
					2,109	6,2	2,3

Produzione annuale stimata del parco eolico

Combinazione di WTG	Risultato PARK	Risultato-10,0%	Lordo (senza perdite)	Efficienza parco	Fattore di capacità	Media per WTG	Ore equivalenti	Velocità media al mozzo	Risultati	
									[MWh/anno]	[MWh/anno]
Parco eolico	157.626,9	141.864,2	169.643,8	92,9	29,6	10.912,6	2.598	6,2		

*) Basato su Risultato-10,0%

Energia annuale calcolata per ciascuna delle 13 nuove WTG, per un totale di 54,6 MW nominali installati

Statistica	Tipo di WTG		Potenza nominale	Diametro rotore	Altezza mozzo	Curva di potenza		Produzione annuale		Parco		
	Valida	Prod.				Tipo generatore	Creata da	Nome	Risultato	Risultato-10,0%	Efficienza	Free mean wind speed
01 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	13.191,7	11.873	97,22	6,27
02 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.743,4	11.469	94,77	6,24
03 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.841,5	11.557	96,93	6,20
04 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.697,8	11.428	95,53	6,22
05 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.397,8	11.158	95,16	6,17
06 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.486,9	10.338	88,40	6,16
07 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.373,2	10.236	88,10	6,14
08 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.747,0	11.472	98,29	6,16
09 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	12.014,1	10.813	92,58	6,16
10 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.414,8	10.273	88,21	6,14
11 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.859,3	10.673	91,62	6,15
12 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.027,1	9.924	87,26	6,08
13 SiteParkCerZ-WI	Si	VESTAS	V150-4.2-4.200	4.200	150,0	105,0	EMD	Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	11.832,1	10.649	93,25	6,09

Posizione delle WTG

UTM (north)-WGS84 Zona: 33

	Easting	Northing	Z	Dati/Descrizione
01 Nuova	569.958	4.575.082	60,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (53)
02 Nuova	571.027	4.575.113	60,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (54)
03 Nuova	569.993	4.574.437	60,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (55)

continua alla pagina successiva...

PARK - Risultato principale

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02

...continua dalla pagina precedente

UTM (north)-WGS84 Zona: 33

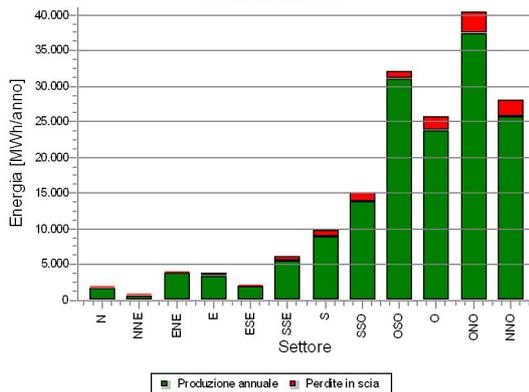
	Easting	Northing	Z	Dati/Descrizione
			[m]	
04 Nuova	570.167	4.573.659	69,5	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (56)
05 Nuova	570.007	4.572.910	72,2	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (57)
06 Nuova	570.721	4.573.089	70,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (58)
07 Nuova	571.490	4.572.860	70,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (59)
08 Nuova	569.468	4.572.325	76,5	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (60)
09 Nuova	570.178	4.572.143	80,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (61)
10 Nuova	571.965	4.572.338	79,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (62)
11 Nuova	570.606	4.571.594	86,4	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (63)
12 Nuova	571.289	4.571.561	85,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (64)
13 Nuova	571.032	4.571.080	90,0	VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! hub: 105,0 m (TOT: 180,0 m) (65)

PARK - Analisi della produzione

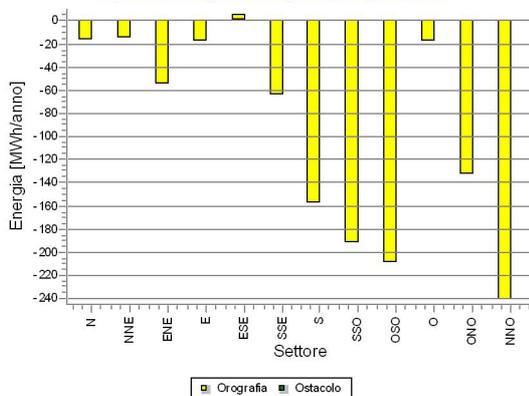
Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02**WTG:** Tutte le WTG nuove, densità dell'aria variabile con la posizione della WTG: 1,199 kg/m³ - 1,202 kg/m³
Analisi direzionale

Settore	0 N	1 NNE	2 ENE	3 E	4 ESE	5 SSE	6 S	7 SSO	8 OSO	9 O	10 ONO	11 NNO	Totale
Energia basata sulla rugosità [MWh]	1.885,9	845,9	4.150,9	3.745,0	2.044,7	6.166,1	9.989,4	15.187,0	32.183,3	25.814,7	40.482,6	28.262,1	170.757,5
+Incremento dovuto all'orografia [MWh]	-16,3	-15,4	-55,5	-17,7	5,9	-63,8	-157,8	-191,7	-209,6	-17,8	-132,7	-241,2	-1.113,7
-Perdite dovute alle scie [MWh]	224,1	101,6	263,8	358,9	205,1	661,7	1.004,7	1.104,9	961,9	1.928,5	2.977,5	2.224,2	12.017,0
Energia risultante [MWh]	1.645,4	728,9	3.831,6	3.368,4	1.845,5	5.440,6	8.826,8	13.890,3	31.011,8	23.868,4	37.372,5	25.796,7	157.626,8
Energia specifica [kWh/m ²]													686
Energia specifica [kWh/kW]													2.887
Incremento dovuto all'orografia [%]	-0,9	-1,8	-1,3	-0,5	0,3	-1,0	-1,6	-1,3	-0,7	-0,1	-0,3	-0,9	-0,65
Perdite dovute alle scie [%]	12,0	12,2	6,4	9,6	10,0	10,8	10,2	7,4	3,0	7,5	7,4	7,9	7,08
Utilizzazione [%]	33,2	36,0	40,4	38,9	37,7	33,2	34,4	31,6	26,2	37,4	36,5	30,6	32,5
Tempo di operatività [Ore/anno]	208	183	461	387	244	372	570	681	1.209	1.360	1.648	926	8.248
Ore equivalenti [Ore/anno]	30	13	70	62	34	100	162	254	568	437	684	472	2.887

Energia per settore



Impatto dell'orografia e degli ostacoli per settore



PARK - Analisi della curva di potenza

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02**WTG:** 01 - VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017, Altezza mozzo: 105,0 m
Nome: Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017
Fonte: Manufacturer

Data fonte	Creata da	Creato	Redatto	Soglia di blocco [m/s]	Controllo della potenza	Tipo di curva Ct	Tipo di generatore	Potenza specifica kW/m ²
27/07/2017	EMD	10/08/2017	10/08/2017	22,5	Pitch	Definito dall'utente	Variable	0,24

Document no.: DMS 0067-7067 V04.
IEC S (HH 105 & 155 m)
DiBT WZ2(S) (HH 123 & 166 m)

Confronto con curva HP - Nota: per densità dell'aria standard e parametro Weibull k = 2

V media	[m/s]	5	6	7	8	9	10
Valore HP Pitch, variable speed (2013)	[MWh]	8.530	12.511	16.163	19.289	21.849	23.843
VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O! Level 0 - Calculated - Modes PO1 & PO1-0S - 27-07-2017	[MWh]	8.686	12.685	16.332	19.399	21.798	23.511
Valore di controllo	[%]	-2	-1	-1	-1	0	1

La tabella mostra il confronto con la produzione annuale di energia calcolata sulla base delle semplici "curve HP", che assumono che tutte le WTG abbiano prestazioni simili - solo la potenza specifica (kW/m²), la velocità singola/duale o stallo/pitch influenzano i valori calcolati. La produzione è intesa senza le perdite di scia.
For further details, ask at the Danish Energy Agency for project report J.nr. 51171/00-0016 or see windPRO manual chapter 3.5.2.
Il metodo è descritto nel rapporto EMD "20 Detailed Case Studies comparing Project Design Calculations and actual Energy Productions for Wind Energy Projects worldwide", gennaio 2003.
Usare la tabella per valutare se la curva di potenza data è ragionevole - se il valore di controllo è inferiore a -5%, la curva di potenza è probabilmente troppo ottimistica a causa dell'incertezza sulla sua misurazione.

Curva di potenza

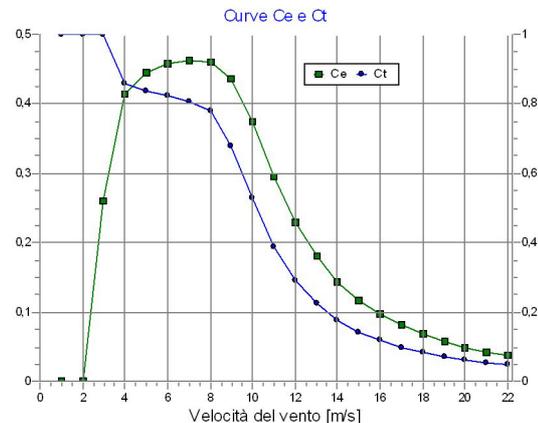
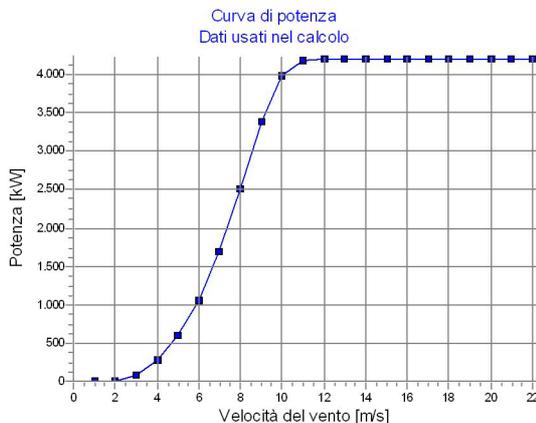
Dati originali dal Catalogo WTG, Densità dell'aria: 1,225 kg/m³

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Ce	Velocità del vento [m/s]	Curva Ct
3,0	78,0	0,27	3,0	1,00
3,5	172,0	0,37	3,5	0,92
4,0	287,0	0,41	4,0	0,86
4,5	426,0	0,43	4,5	0,85
5,0	601,0	0,44	5,0	0,84
5,5	814,0	0,45	5,5	0,83
6,0	1.069,0	0,46	6,0	0,82
6,5	1.367,0	0,46	6,5	0,82
7,0	1.717,0	0,46	7,0	0,81
7,5	2.110,0	0,46	7,5	0,79
8,0	2.546,0	0,46	8,0	0,78
8,5	3.002,0	0,45	8,5	0,74
9,0	3.428,0	0,43	9,0	0,68
9,5	3.773,0	0,41	9,5	0,61
10,0	4.012,0	0,37	10,0	0,53
10,5	4.131,0	0,33	10,5	0,46
11,0	4.186,0	0,29	11,0	0,39
11,5	4.198,0	0,26	11,5	0,33
12,0	4.200,0	0,22	12,0	0,29
12,5	4.200,0	0,20	12,5	0,25
13,0	4.200,0	0,18	13,0	0,22
13,5	4.200,0	0,16	13,5	0,20
14,0	4.200,0	0,14	14,0	0,18
14,5	4.200,0	0,13	14,5	0,16
15,0	4.200,0	0,11	15,0	0,14
15,5	4.200,0	0,10	15,5	0,13
16,0	4.200,0	0,09	16,0	0,12
16,5	4.200,0	0,09	16,5	0,11
17,0	4.200,0	0,08	17,0	0,10
17,5	4.200,0	0,07	17,5	0,09
18,0	4.200,0	0,07	18,0	0,08
18,5	4.200,0	0,06	18,5	0,08
19,0	4.200,0	0,06	19,0	0,07
19,5	4.200,0	0,05	19,5	0,07
20,0	4.200,0	0,05	20,0	0,06
20,5	4.200,0	0,05	20,5	0,06
21,0	4.200,0	0,04	21,0	0,05
21,5	4.200,0	0,04	21,5	0,05
22,0	4.200,0	0,04	22,0	0,05
22,5	4.200,0	0,03	22,5	0,05

Potenza, efficienza ed energia vs. velocità del vento

Dati usati nel calcolo, Densità dell'aria: 1,202 kg/m³ New windPRO method (adjusted IEC method, improved to match turbine control) <RECOMMENDED>

Velocità del vento [m/s]	Potenza [kW]	Ce	Intervallo [m/s]	Energia [MWh]	Energia cumulata [MWh]	Frazione del totale [%]
1,0	0,0	0,00	0,50-1,50	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,00	1,50-2,50	0,0	0,0	0,0
3,0	74,4	0,26	2,50-3,50	75,1	75,1	0,6
4,0	281,1	0,41	3,50-4,50	296,9	372,0	2,8
5,0	589,8	0,44	4,50-5,50	671,8	1.043,8	7,9
6,0	1.049,5	0,46	5,50-6,50	1.178,9	2.222,8	16,8
7,0	1.685,7	0,46	6,50-7,50	1.722,7	3.945,5	29,9
8,0	2.501,0	0,46	7,50-8,50	2.138,7	6.084,2	46,1
9,0	3.374,4	0,44	8,50-9,50	2.214,5	8.298,6	62,9
10,0	3.973,2	0,37	9,50-10,50	1.867,3	10.165,9	77,1
11,0	4.174,3	0,30	10,50-11,50	1.301,9	11.467,8	86,9
12,0	4.199,5	0,23	11,50-12,50	793,1	12.260,9	92,9
13,0	4.200,0	0,18	12,50-13,50	444,8	12.705,6	96,3
14,0	4.200,0	0,14	13,50-14,50	236,8	12.942,4	98,1
15,0	4.200,0	0,12	14,50-15,50	122,4	13.064,9	99,0
16,0	4.200,0	0,10	15,50-16,50	62,6	13.127,5	99,5
17,0	4.200,0	0,08	16,50-17,50	32,0	13.159,5	99,8
18,0	4.200,0	0,07	17,50-18,50	16,4	13.175,9	99,9
19,0	4.200,0	0,06	18,50-19,50	8,3	13.184,2	99,9
20,0	4.200,0	0,05	19,50-20,50	4,2	13.188,4	100,0
21,0	4.200,0	0,04	20,50-21,50	2,1	13.190,5	100,0
22,0	4.200,0	0,04	21,50-22,50	1,0	13.191,4	100,0
23,0	0,0	0,00	22,50-23,50	0,3	13.191,7	100,0



PARK - Analisi dei Dati di vento

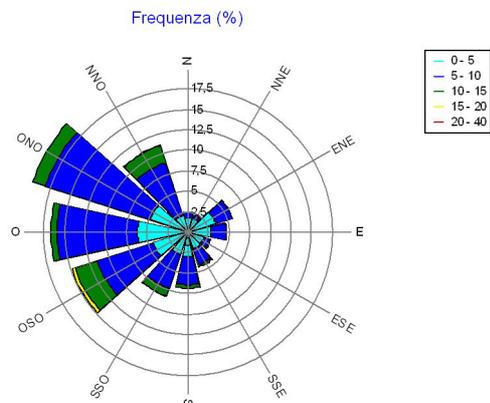
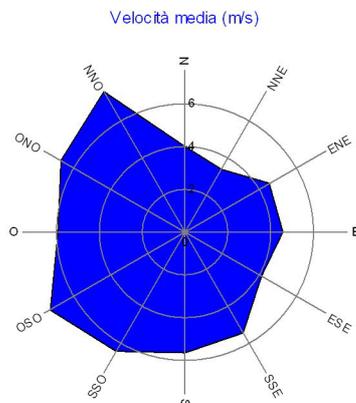
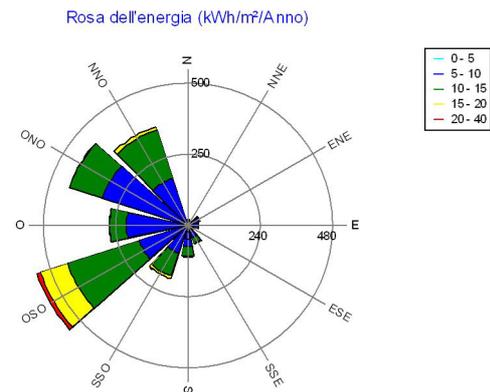
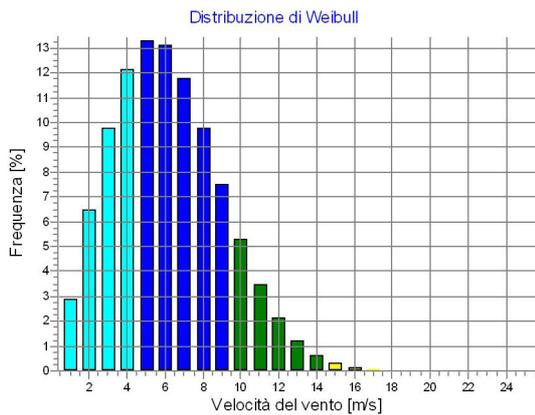
Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02 **Dati di vento:** SiteParkCerZ-WI - SiteParkCerZ-WI; Altezza mozzo: 105,0

Coordinate del sito
UTM (north)-WGS84 Zone: 33
Est: 570.731 Nord: 4.572.698

Statistica del Vento
IT_OrtaNova-MCP-WindIndex-ERA5_Zapponeta.wws

Parametri Weibull

Sito attuale				
Settore	Parametro A [m/s]	Velocità del vento [m/s]	Parametro k	Frequenza [%]
0 N	4,47	4,01	1,600	2,5
1 NNE	3,84	3,42	1,826	2,2
2 ENE	5,08	4,51	2,475	5,7
3 E	5,16	4,58	2,428	4,7
4 ESE	4,68	4,15	2,041	2,9
5 SSE	6,13	5,42	2,104	4,5
6 S	6,36	5,63	2,279	6,9
7 SSO	7,25	6,42	2,275	8,3
8 OSO	8,20	7,26	2,092	14,8
9 O	6,65	5,92	2,732	16,6
10 ONO	7,49	6,70	3,166	19,8
11 NNO	8,49	7,58	2,947	11,1
Tutti	6,95	6,16	2,244	100,0



PARK - Curva di potenza del parco

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02

Velocità del vento [m/s]	Potenza													
	WTG libere [kW]	WTG in parco [kW]	N [kW]	NNE [kW]	ENE [kW]	E [kW]	ESE [kW]	SSE [kW]	S [kW]	SSO [kW]	OSO [kW]	O [kW]	ONO [kW]	NNO [kW]
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,5	2.178	1.742	1.556	1.708	1.922	1.775	1.738	1.568	1.615	1.690	1.923	1.778	1.739	1.588
4,5	5.427	4.751	4.476	4.693	5.023	4.805	4.757	4.483	4.547	4.673	5.023	4.809	4.754	4.506
5,5	10.374	9.181	8.712	9.078	9.654	9.273	9.189	8.721	8.827	9.044	9.656	9.280	9.182	8.763
6,5	17.427	15.523	14.769	15.356	16.282	15.669	15.537	14.786	14.955	15.304	16.284	15.681	15.524	14.852
7,5	26.906	24.127	23.015	23.879	25.243	24.346	24.146	23.037	23.284	23.807	25.246	24.361	24.130	23.133
8,5	38.309	34.872	33.455	34.554	36.290	35.170	34.904	33.468	33.773	34.473	36.294	35.188	34.885	33.580
9,5	48.367	45.791	44.588	45.524	46.957	46.085	45.852	44.576	44.797	45.484	46.960	46.094	45.841	44.637
10,5	53.395	52.533	52.084	52.424	52.977	52.663	52.587	52.044	52.095	52.431	52.979	52.664	52.579	52.037
11,5	54.534	54.439	54.388	54.424	54.496	54.455	54.451	54.373	54.378	54.430	54.496	54.455	54.449	54.370
12,5	54.600	54.599	54.598	54.598	54.600	54.599	54.599	54.597	54.597	54.599	54.600	54.599	54.599	54.597
13,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
14,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
15,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
16,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
17,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
18,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
19,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
20,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
21,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
22,5	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600
23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Descrizione:

La curva di potenza del parco è simile alla curva di potenza di una WTG, nel senso che quando una data velocità del vento si manifesta "di fronte al parco" con la stessa velocità nell'intera area del parco eolico (prima dell' effetto del parco stesso), allora la produzione complessiva può essere data dalla curva di potenza del parco. Si può anche dire: la curva di potenza del parco include le perdite da allineamento, ma NON include le variazioni date dal terreno alla velocità del vento entro l' area del parco.

Measuring a park power curve is not as simple as measuring a WTG power curve due to the fact that the park power curve depends on the wind direction and that the same wind speed normally will not appear for the entire park area at the same time (only in very flat non-complex terrain). The idea with this version of the park power curve is not to use it for validation based on measurements. This would require at least 2 measurement masts at two sides of the park, unless only a few direction sectors should be tested, AND non complex terrain (normally only useable off shore). Another park power curve version for complex terrain is available in windPRO.

La curva di potenza del parco può essere usata per:

1. Sistemi di previsione, basati su più dati di vento approssimativi; la curva di potenza del parco sarebbe un modo efficace di ottenere il legame tra la velocità (e la direzione) del vento e la potenza.
2. Costruzione delle curve di durata, che descrivono quanto spesso un dato output di potenza si presenta. La curva di potenza del parco può essere usata insieme con la distribuzione media del vento sull'area del parco eolico all'altezza del mozzo. Tale distribuzione può eventualmente essere ottenuta dai parametri Weibull per ogni posizione delle WTG. Questi si trovano nel menu di stampa "Risultato su file", in "Risultato del Parco", che può essere salvato su file o copiato e incollato in Excel.
3. Calcolo dell'Indice di Vento basato sulla produzione del parco (v. sotto).
4. Stima della produzione attesa di una centrale eolica esistente sulla base di misure in almeno due siti ai lati della centrale. The masts must be used for obtaining the free wind speed. The free wind speed is used in the simulation of expected energy production with the PARK power curve. This procedure will only work suitable in non complex terrains. For complex terrain another park power curve calculation is available in windPRO (PPV-model).

Nota:

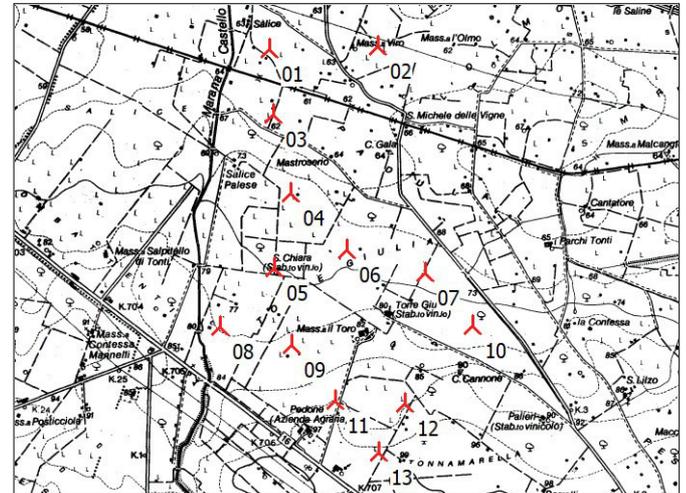
Nel menu " Risultato su file" è disponibile anche l' opzione " Velocità del vento entro il parco eolico" . Essa può essere utilizzata per estrarre (e.g. con Excel) le perdite indotte dalle scie sulla velocità del vento misurata.

PARK - Distanze tra le WTG

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02

Distanze tra le WTG

Z	WTG più vicina	Z	Distanza orizzontale [m]	Distanza in Diametri Rotore
01	03	60,0	646	4,3
02	01	60,0	1.069	7,1
03	01	60,0	646	4,3
04	05	72,2	766	5,1
05	06	70,0	736	4,9
06	05	72,2	736	4,9
07	10	79,0	706	4,7
08	09	80,0	733	4,9
09	11	86,4	696	4,6
10	07	70,0	706	4,7
11	13	90,0	668	4,5
12	13	90,0	545	3,6
13	12	85,0	545	3,6
Min	60,0	60,0	545	3,6
Max	90,0	90,0	1.069	7,1



Scala 1:75.000

▲ Nuova WTG

PARK - Info Statistica di Vento

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02

Dati per il calcolo della Statistica del Vento

File C:\Users\Cris\Documents\WindPRO Data\Projects\Cerignola\IT_OrtaNova-MCP-WindIndex-ERA5_Zapponeta.wws
Nome OrtaNova-MCP-WI-ERA5_Zapponeta
Paese Italy
Fonte USER
Coordinate mast UTM (north)-WGS84 Zone: 33 Est: 560.203 Nord: 4.572.548
Creato 19/02/2019
Redatto 19/02/2019
Settori 12
Versione WAsP WAsP 10 3.1.633
Altezza di dislocamento Nessuna

Commenti

From MCP
Corrected with 0,94

Ulteriori informazioni sulla Statistica

Altezza di misura (s.l.s.) 50,0 m
Quota del mast di misura (s.l.m.) 85,0 m

Informazioni sulla correzione di lungo periodo

Metodo Wind Index MCP
Fonte dati ERA5_N41.451975_E015.840000 (13)
Distanza dal mast di sito 19,5 km
Dati di lungo termine dal 01/01/2004
al 01/01/2019
Dati contemporanei dal 12/11/2009
al 19/07/2010
Numero di dati contemporanei 5974
Intervallo di registrazione utilizzato 60 minuti
Percentuale di dati contemporanei utilizzati 100,0 %

Numero di anni con dati di lungo periodo 15,0 anni
Numero di mesi con dati contemporanei 8,2 mesi

Test di correlazione basato su Indici di Vento mensili

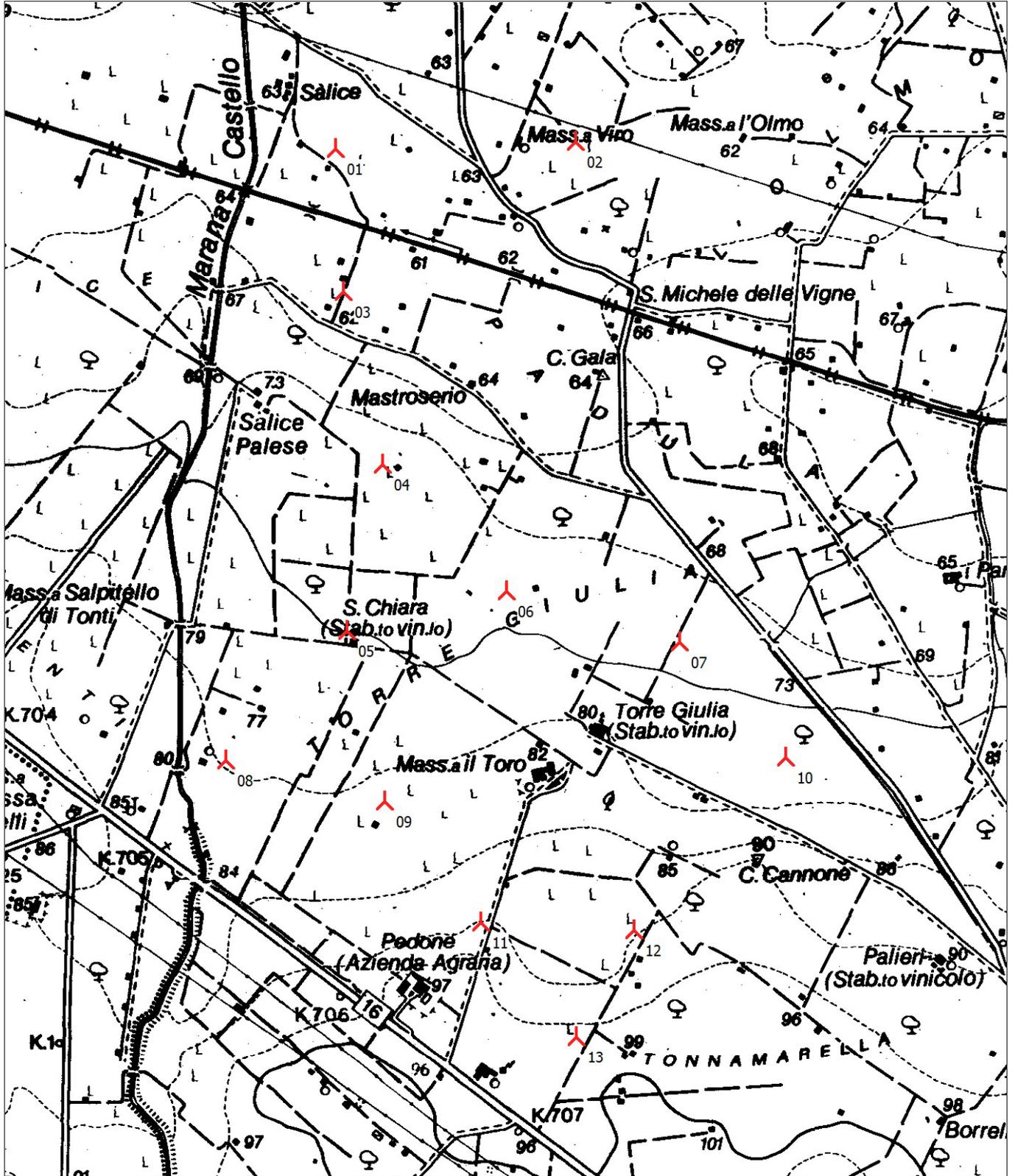
Curva di potenza usata per l'Indice di Vento VESTAS V150-4.2 4200 150.0 !O!
Soglia di accettazione disponibilità dati (per mese) 60 %
Numero di indici mensili 8
r² - indice di vento 0,8975
r - indice di vento 0,9474
s - indice di vento 8,2167

Commento

Per ottenere un risultato corretto, la Statistica del Vento deve essere stata calcolata con lo STESSO modello e parametrizzazione selezionati in questo calcolo. Versioni di WAsP precedenti alla 10.0 non presentano variazioni sostanziali, ma nelle versioni successive le modifiche applicate hanno effetto sulla Statistica del Vento. Analogamente, WAsP CFD deve sempre utilizzare Statistiche di Vento calcolate con WAsP CFD.

PARK - Mappa

Calcolo: Prod_P50_Cerignola_01_Z_rev02



0 250 500 750 1000m

Mappa: IGM_50k , Scala di stampa 1:25.000, Centro mappa UTM (north)-WGS84 Zone: 33 Est: 570.717 Nord: 4.573.097

Nuova WTG