

REGIONE SICILIA

Provincia di Catania

COMUNI DI MILITELLO VAL DI CATANIA MINEO VIZZINI

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO MINEO-MILITELLO- VIZZINI



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO:

VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITÀ

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP..	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	20/02/2018		1 di 54	A4	MMV	ENG	REL	0026	00

NOME FILE : MMV-ENG-REL-0026_00.doc

ERG Wind Sicilia 2 S.r.l. e ERG Wind Sicilia 5 S.r.l. si riservano tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizz



MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT)

Stima della Producibilità Energetica del parco eolico ripotenziato

0	12/01/2018	FINAL	DI MAIO	CORBO	DEPERU
REV.	DATA	ATTIVITÀ	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	PAGINA
PRG	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV	MMV-ENG-REL-0026-00	2 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	3 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	RAPPRESENTAZIONE DEL SITO	5
2.1	Descrizione del sito	5
2.2	Layout	7
2.3	Aerogeneratori adottati	8
2.4	Allacciamento alla rete elettrica	12
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	13
3.1	Strumenti utilizzati	14
3.2	Raccolta dei dati e validazione	16
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	17
4	CURVA DI POTENZA	29
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	32
5.1	Il modello digitale del terreno	32
5.2	La rugosità	34
5.3	La risorsa eolica	35
5.4	Risultati del modello	38
6	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE	44

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	4 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

1 INTRODUZIONE

La Stima della Producibilità Energetica rappresenta la previsione della produzione annuale di un progetto di impianto eolico, che potrebbe essere costruito una volta ottenute tutte le autorizzazioni del caso e verificata la remuneratività del progetto stesso.

Si tratta di uno studio volto a studiare la producibilità di un impianto esistente che viene ripotenziato grazie all'installazione di macchine innovative con potenza unitaria maggiori rispetto alle macchine attualmente installate.

La Stima della Producibilità Energetica è il frutto dell'integrazione fra la metodologia che ERG ha sviluppato riguardo al processo di analisi dei dati provenienti dalle torri anemometriche di riferimento e/o di micrositing, e una procedura di stima basata sulla modellazione del flusso di vento tramite fluidodinamica computazionale (CFD). In merito alla simulazione del flusso di vento, ci si è avvalso del software di modellazione del vento denominato WindSim (il software), mediante in quale vengono implementate le seguenti fasi:

- Calcolo del flusso di vento
- Estrapolazione della V media a quota mozzo
- Calcolo dell'energia annua producibile
- Stima delle perdite per scia

Mentre per le fasi seguenti ci si è avvalsi della procedura di calcolo messa a punto internamente:

- Trattamento e validazione dei dati anemometrici
- Storicizzazione del dato
- Valutazione delle restanti perdite
- Analisi dell'incertezza a cui è sottoposta la stima

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	5 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente è situato nella fascia sud della provincia di Catania e comprende tre comuni: Mineo, Militello e Vizzini. L'impianto attualmente è costituito da due unità produttive: la prima quella di Mineo, Militello impianto da 29 macchine Vestas V52 di potenza complessiva di circa 24 MW e l'impianto di Vizzini che comprende 30 macchine Vestas V52 di potenza totale di 25MW.

Il nuovo layout ripotenziato si sviluppa nell'aera del parco già esistenze e prevede un numero totali di 29 macchine: 15 macchine nel comune di Militello e Mineo e 14 macchine nel comune di Vizzini, dimezzamento, di fatto il numero di punti macchina. Inoltre, circa metà delle macchine ripotenziato sono state progettate in posizioni adiacenti, o perfettamente sovrapposte alle macchine già esistenti.

La zona presenta un'orografia piuttosto variegata: il versante Est, il crinale di Vizzini, degrada verso valle in direzione Ovest e una gola piuttosto marcata attraversa il sito e che lo divide in due zone ben distinte.

L'impianto si trova tra il triangolo Militello (c.a. 1.5 km in direzione Est), Vizzini (c.a. 5 km in direzione Sud), Mineo (c.a. 4 km Nord Ovest).

Gran parte dell'area d'impianto è caratterizzata dalla presenza di alberi ad alto fusto piuttosto fitti, che in alcuni casi superano i 10 m d'altezza.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	6 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

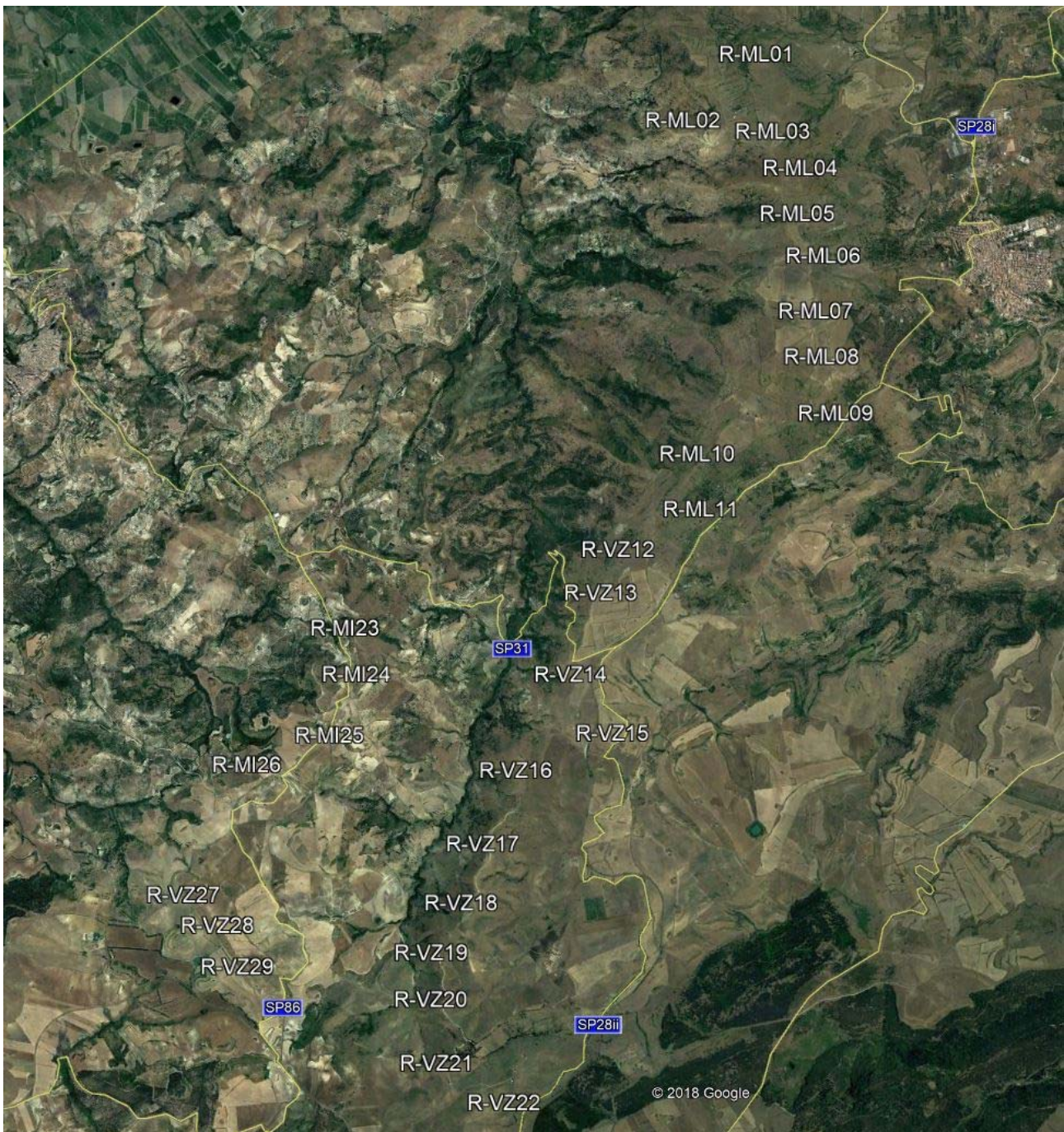


Fig. 1: Inquadramento del sito (ripotenziato)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	7 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

2.2 Layout

Il layout di impianto è composto da N. 29 aerogeneratori, dislocati all'interno di territori comunali di Mineo, Militello, Vizzini.

Gli aerogeneratori sono disposti in due aree differenti, separate da una gola che divide il sito in direzione N-S, come mostrato in Fig. 1.

Le coordinate (Gauss Boaga) e le quote relative ad ogni postazione di macchina sono:

Sigla	Coordinate in Gauss-Boaga		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG			
R-ML01	2499401	4127147	548.7
R-ML02	2499136	4126650	583,0
R-ML03	2499550	4126420	583.0
R-ML04	2499805	4126077	606.8
R-ML05	2499774	4125652	612.7
R-ML06	2500017	4125274	568.6
R-ML07	2499945	4124756	593.6
R-ML08	2499996	4124331	618.5
R-ML09	2499699	4123925	642.5
R-ML10	2498840	4123433	645.0
R-VZ11	2498449	4123045	645.7
R-VZ12	2498105	4122554	649.3
R-VZ13	2497943	4122157	604.9
R-VZ14	2497621	4121390	554.9
R-VZ15	2497629	4120997	557.1
R-VZ16	2497149	4120518	593.9
R-VZ17	2496844	4119842	611.6
R-VZ18	2496649	4119307	649.1
R-VZ19	2496368	4118848	621.2
R-VZ20	2496363	4118415	644.2
R-VZ21	2496421	4117832	648.2
R-MI22	2497038	4117727	627.1
R-MI23	2495600	4121834	594.8
R-MI24	2495680	4121411	575.5
R-MI25	2495018	4120964	550.6
R-VZ26	2494647	4120575	569.4
R-VZ27	2494082	4119387	646.4
R-VZ28	2494406	4119112	676.9
R-VZ29	2494579	4118726	664.7

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	8 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

2.3 Aerogeneratori adottati

Per la stima di producibilità energetica di Mineo-Militello-Vizzini vengono prese in esame tre diverse tipologie di aerogeneratori, di cui si riportano di seguito le relative caratteristiche e curve di potenza garantite dal costruttore a densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$).

Il primo modello Vestas V136 è stato valutato a due differenti altezze mozzo: 82m e 112m

Modello	V136 4.2
Produttore	Vestas
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	136.0
Altezza del mozzo (m)	82

Modello	V136 4.2
Produttore	Vestas
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	136.0
Altezza del mozzo (m)	112.0

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	9 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

La curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito per l'aerogeneratore Vestas V136-4.2 MW è la seguente:

Velocità del vento (m/s)	V136 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	41.0
4	201.0
5	436.0
6	781.0
7	1263.0
8	1899.0
9	2670.0
10	3397.0
11	3936.0
12	4163.0
13	4197.0
14	4200.0
15	4200.0
16	4200.0
17	4200.0
18	4200.0
19	4200.0
20	4200.0
21	4200.0
22	4200.0
23	4200.0
24	4200.0
25	4200.0

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	10 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Il secondo modello preso in esame è invece:

Modello	N131 3.6
Produttore	Nordex
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	131.0
Altezza del mozzo (m)	106.0

La curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$) per l'aerogeneratore Vestas N131-3.6 MW è la seguente:

Velocità del vento (m/s)	V136 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	10.0
4	165.0
5	403.0
6	736.0
7	1190.0
8	1786.0
9	2507.0
10	3178.0
11	3521.0
12	3600.0
13	3600.0
14	3600.0
15	3600.0
16	3600.0
17	3600.0
18	3600.0
19	3600.0
20	3600.0
21	3600.0
22	3600.0

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	11 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

In ultimo, il terzo aereogeneratore preso in esame è:

Modello	M140 3.6
Produttore	Senvion
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	140.0
Altezza del mozzo (m)	110.0

La curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$) per l'aerogeneratore Vestas M140-3.6 MW è la seguente:

Velocità del vento (m/s)	V136 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	35.7
4	200.4
5	463.0
6	842.5
7	1344.1
8	1972.2
9	2694.9
10	3251.9
11	3529.2
12	3596.6
13	3600.0
14	3600.0
15	3600.0
16	3600.0
17	3600.0
18	3600.0
19	3600.0
20	3600.0
21	3600.0
22	3600.0

Per un ulteriore approfondimento delle curve utilizzate nel software si rimanda al capitolo 6.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	12 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

2.4 Allacciamento alla rete elettrica

L'impianto attuale è connesso alla adiacente stazione alla rete di proprietà Terna, situata nel Comune di Mineo (CT).

Anche il parco eolico in progetto rimarrà collegato nel medesimo luogo.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	13 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

3 CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Data la vastità del sito, per esigenze tecniche relative alla costruzione del modello fluidodinamico il sito è stato diviso in due parti: area Nord (riquadrata in rosso) e area Sud (riquadrata in blu) come mostrato in figura:

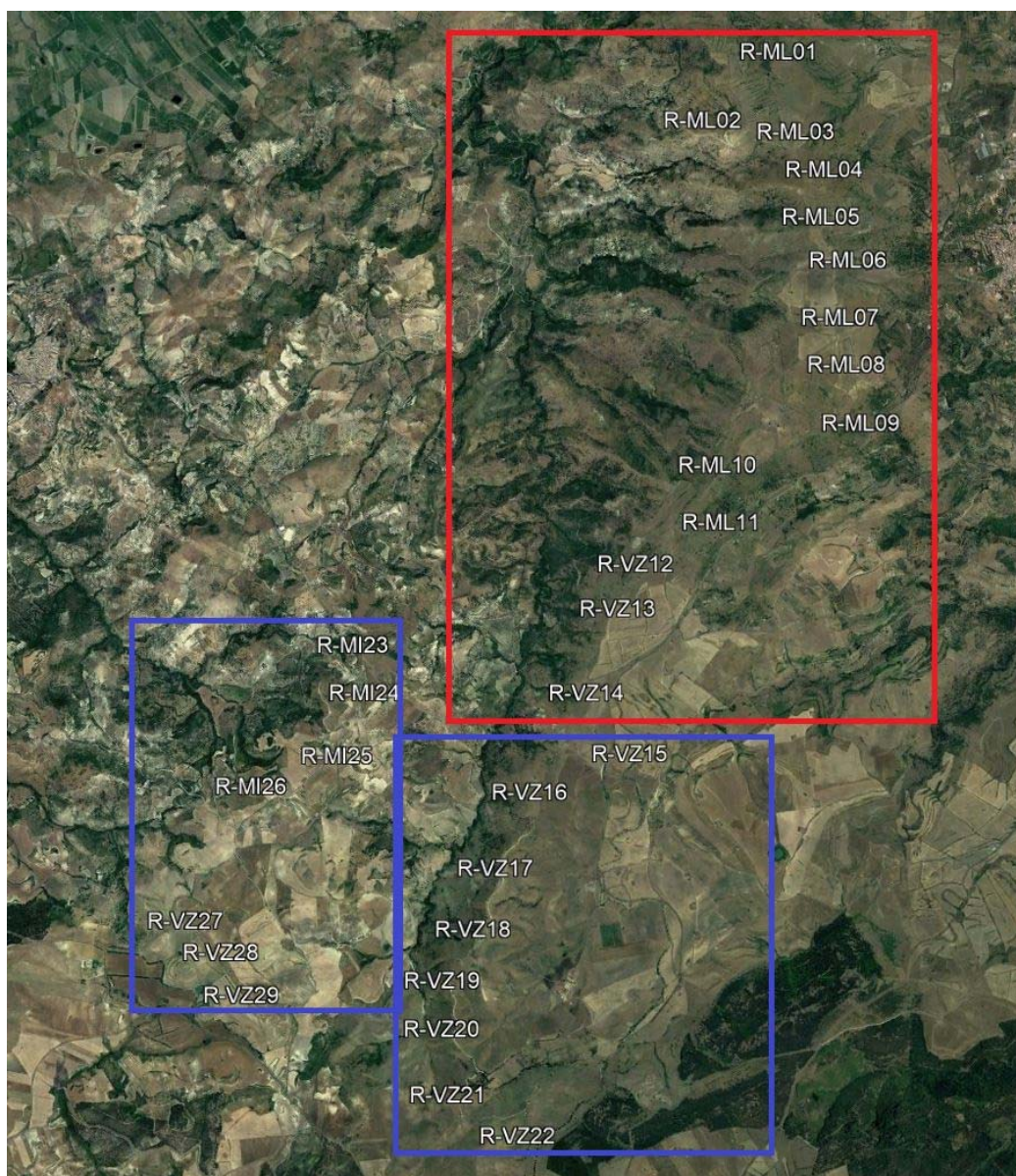


Fig. 2 Suddivisione del sito: Nord (rosso); Sud (blu)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	14 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

3.1 Strumenti utilizzati

La campagna anemometrica è stata condotta in sito con 4 postazioni di misura. Ogni sotto-area (Nord e Sud) è stata costruita in modo tale che avesse una torre di misura con due sensori di velocità (30m-10m) e una con un solo sensore(10m).

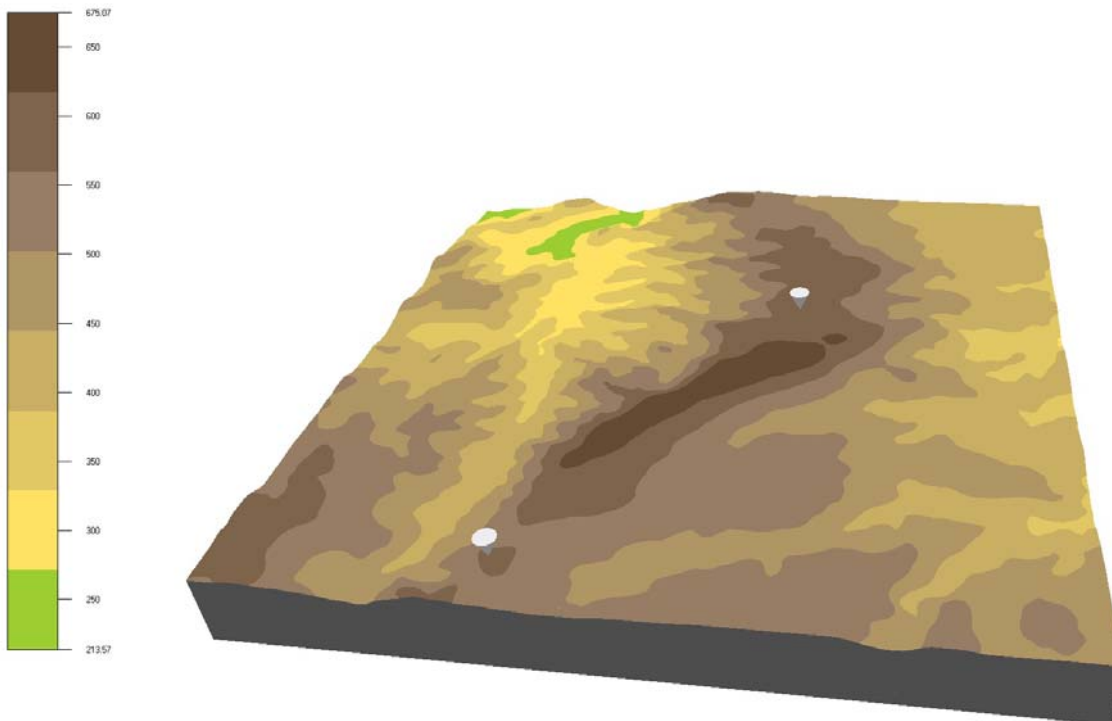


Fig. 3: Stazioni di misura in sito: MVC03 e VIZ04 (Sotto-area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	15 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

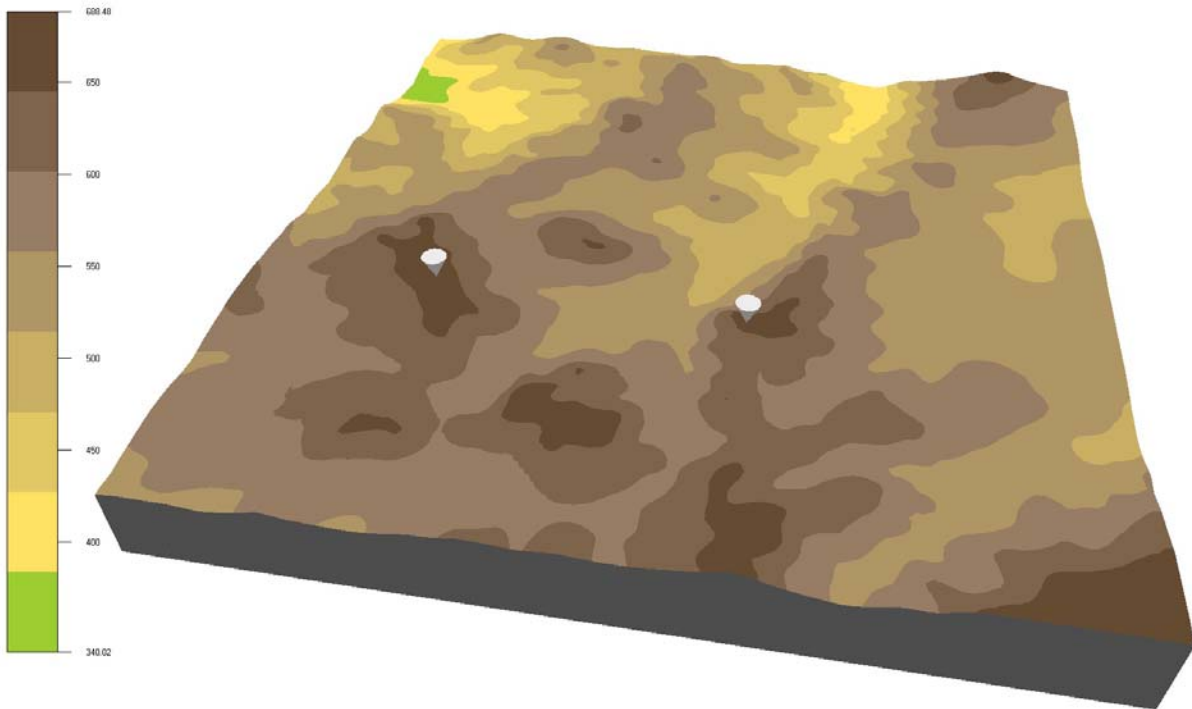


Fig. 4: Stazioni di misura in sito: VIZ07 e VIZ02 (Sotto-area Sud)

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Quota (m)	Anemometro	Altezza (m)	dal	al
MVC03	479660	4124966	600	14XM	30	01-01-08	01-09-15
				14YM	10	01-01-08	01-09-15
VIZ04	477556	4121202	573	14UV	10	01-01-08	01-09-15
VIZ07	474468	4119115	677	14VV	30	01-01-08	01-09-15
				14WV	10	01-01-08	01-09-15
VIZ02	476425	4119084	660	14TV	10	01-01-08	01-09-15

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	16 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

3.2 Raccolta dei dati e validazione

Il processo di validazione prevede un controllo manuale per via grafica dei dati grezzi di velocità, direzione e rispettive deviazioni standard tramite software dedicato. Si riporta, uno tra tutti, la validazione fatta per la torre MVC03 (30m-10m).

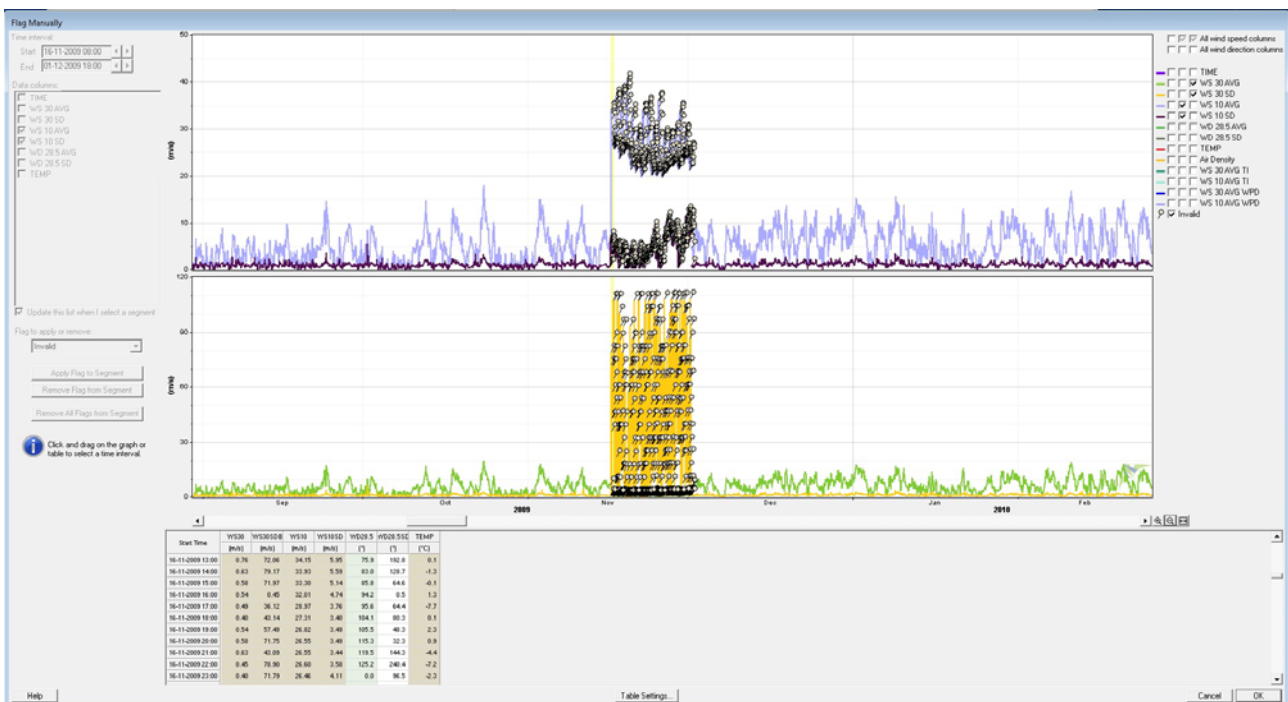


Fig. 5: Validazione anemometro- MVC03

I dati validati vengono raccolti in database protetti, necessari per l'inserimento dei parametri anemometrici nel codice di calcolo CFD e per eventuali altre considerazioni avanzate.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MMV	ENG	REL	0026	0	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	17 di 54

3.3 Analisi anemologica e statistica dei dati

A seguito della validazione dei dati si posso stilare le statistiche sulle velocità medie di sito. Di seguito si riportano le due torri di misura più alte (30m) rispettivamente delle due sotto-aree:

- **MVC03**

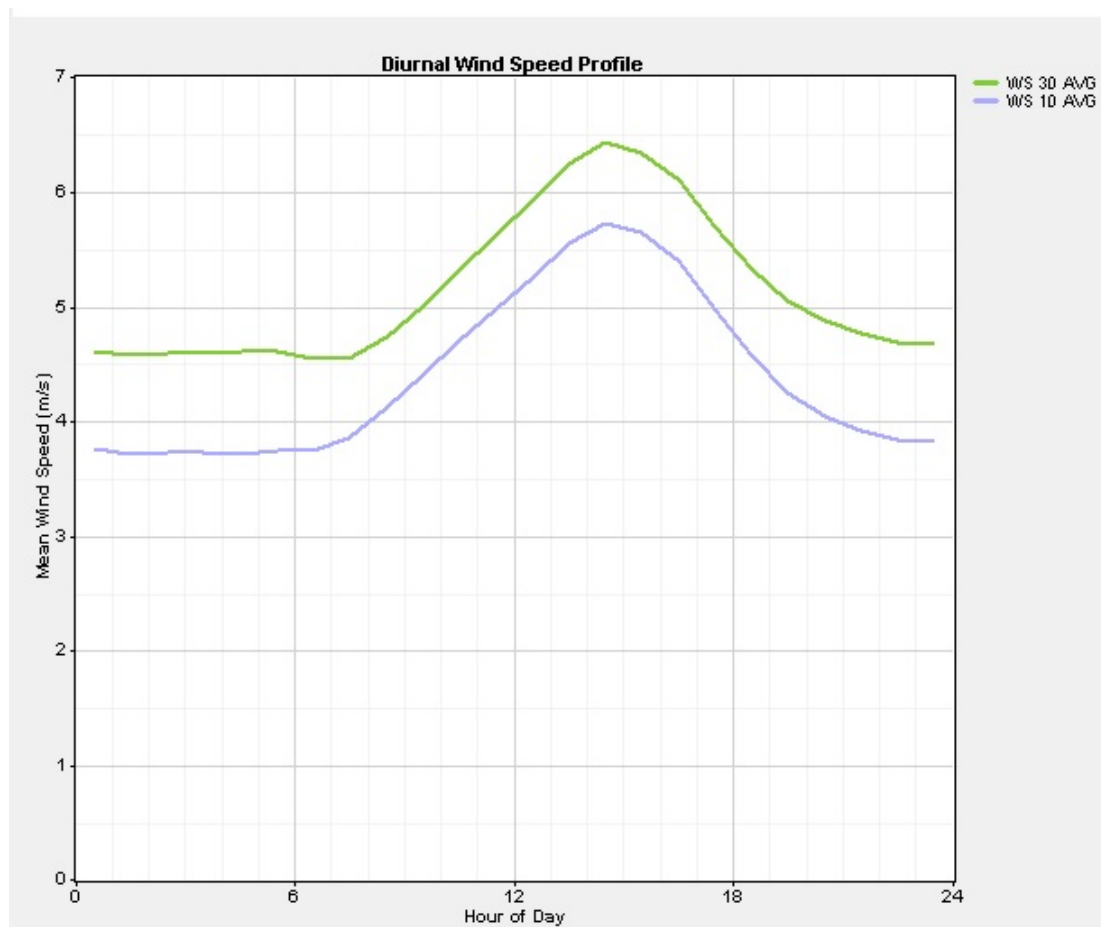


Fig. 6: Profilo giornaliero di velocità- MVC03 (Sotto-area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MMV	ENG	REL	0026	0	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	18 di 54

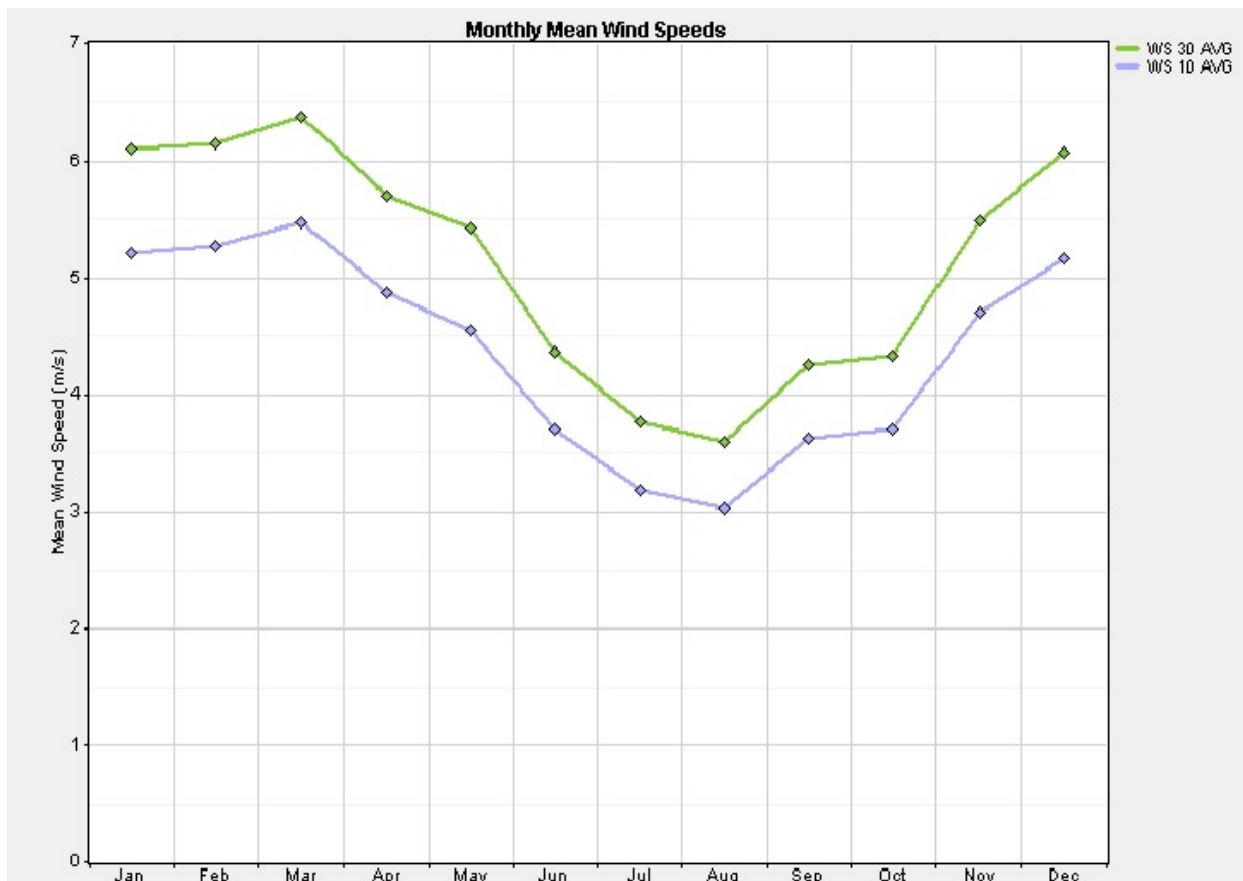


Fig. 7: Profilo mensile di velocità – MVC03 (Sotto-area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MMV	ENG	REL	0026	0	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	19 di 54

- **VIZ07**

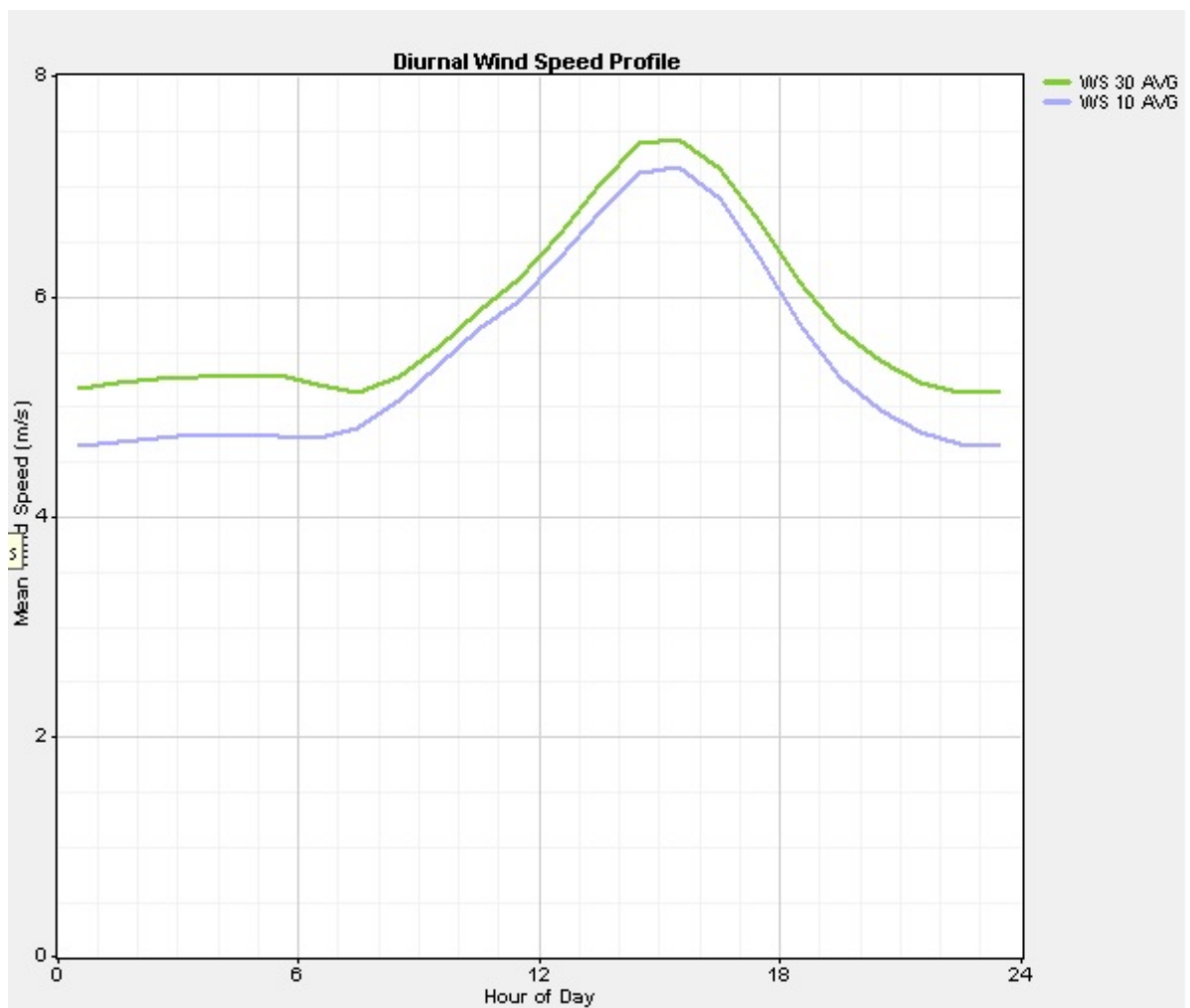


Fig. 8: Profilo giornaliero di velocità- VIZ07 (Sotto-area Sud)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MMV	ENG	REL	0026	0	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	20 di 54

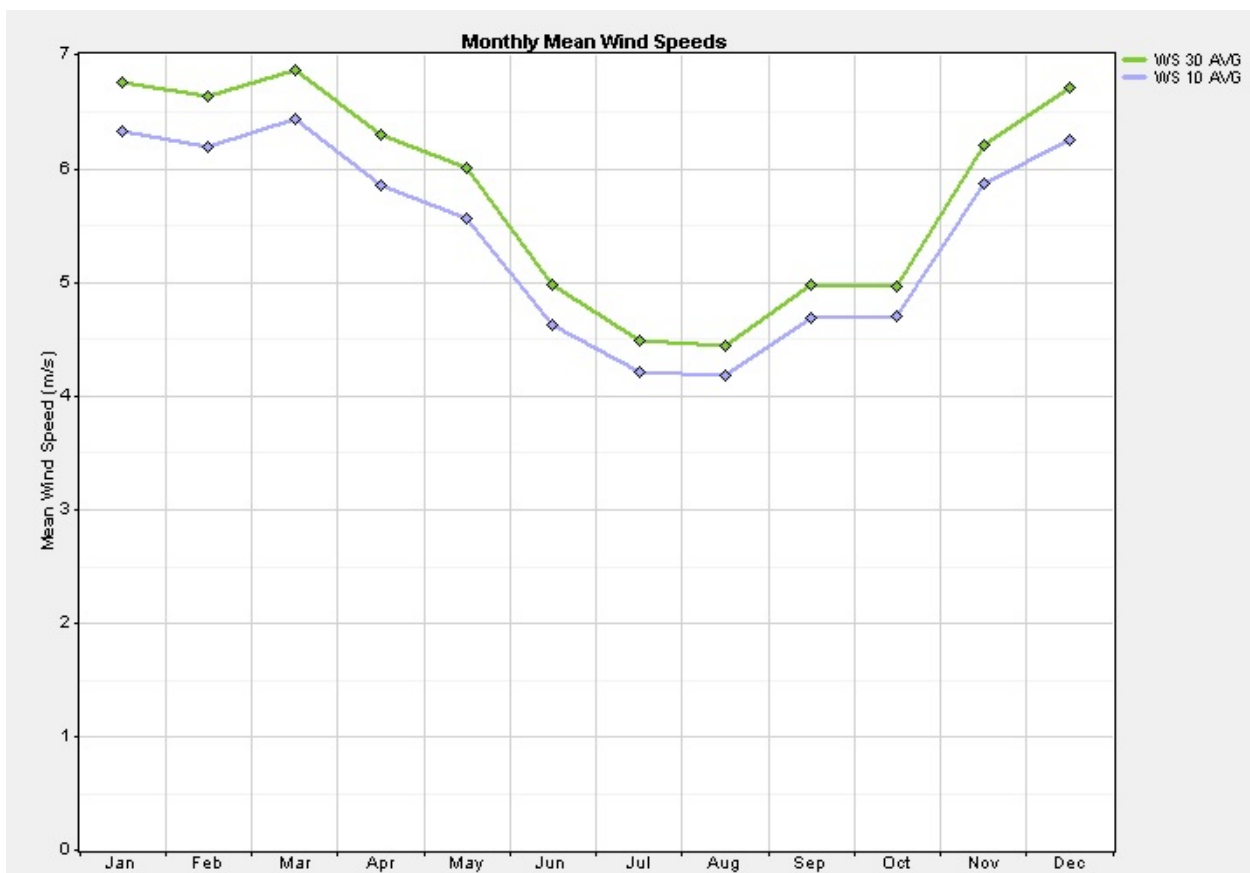


Fig. 9: Profilo mensile di velocità – VIZ07 (Sotto-area Sud)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	21 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Inoltre, si è in grado di estrapolare il profilo verticale di velocità:

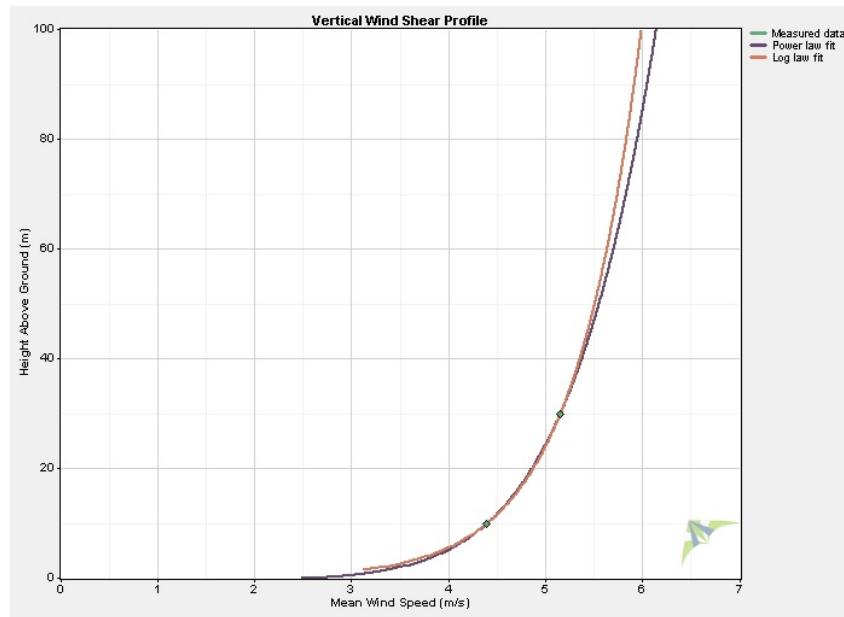


Fig. 10: Profilo di velocità verticale – MVC03 (Sotto-area Nord)

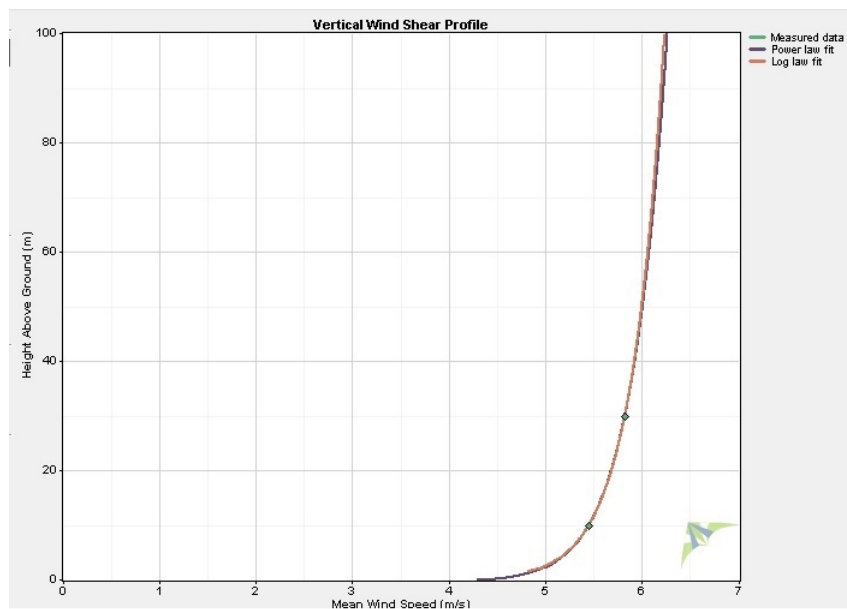


Fig. 11: Profilo di velocità verticale – VIZ07 (Sotto-area Sud)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	22 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Una volta definito il profilo verticale si è in grado di calcolare il gradiente al suolo della velocità (α : "wind shear exponent") utilizzando le velocità medie misurate ai diversi sensori.

$$\alpha = \frac{\ln \frac{v_{30m}}{v_{10m}}}{\ln \frac{30}{10}}$$

Il parametro alfa (α) consente poi di estrapolare la velocità del vento all'altezza mozzo delle macchine che, nel caso del modello installato (Vesta 52), è pari a 50m:

$$v_{50m} = v_{30m} \left(\frac{50}{30} \right)^\alpha$$

Siccome i dati sono stati collezionati su base oraria ad una massima altezza di 30m è stato necessario procedere con una correlazione tra dati anemometrici e dati scada storici su base energia relativi alla producibilità dell'impianto esistente di Mineo-Militello-Vizzini (59 WTG Vestas V52).

La serie storica di dati scada della produzione di energia di impianto è stata rielaborata con la serie di dati scada di downtime (periodo: 2006-2016) per calcolare anno per anno la producibilità mensile e quindi definire il dato di producibilità annua storica (si riporta di seguito)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	23 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

AREA	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	ANNO
NORD	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	STORICO
JAN	3463	3118	2533	4674	5305	1753	4189	5461	4533	4181	4689	4121
FEB	3756	3035	1455	4354	5612	2700	3702	4801	3729	4853	5408	4033
MAR	5065	5057	4418	5030	4000	3139	2320	6178	4786	4651	3368	4473
APR	3326	3952	2913	4504	2184	2708	4806	4563	3855	2559	3854	3587
MAY	1799	1772	4069	1097	3642	3125	2679	3762	2579	2218	3029	2724
JUN	2065	1666	1477	2023	1710	2208	866	1911	1969	1406	1555	1759
JUL	876	1040	1393	771	863	1241	1234	615	1474	823	1147	1032
AUG	1921	1400	713	832	842	645	1200	1262	970	1073	969	1021
SEP	2452	1887	1366	1546	1573	1405	1943	1660	1866	1498	1466	1642
OCT	1690	3781	48	3097	2562	2756	2474	1240	1473	1828	2432	2174
NOV	2496	4581	134	2422	4430	3203	2563	3484	1979	3024	2960	2879
DEC	2136	4813	4304	5886	3646	5088	4924	2020	2715	684	3696	3748
												33193

AREA	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	ANNO
SUD	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	STORICO
JAN	6329	4506	4076	7674	7477	2444	5764	7692	6569	5753	6507	6129
FEB	6459	4664	2306	6422	8141	3816	5243	6639	4697	6922	7669	5864
MAR	7802	7905	6491	6938	5593	4592	3804	8745	6138	6410	5139	6359
APR	5080	6044	4170	5990	2825	3977	6864	6395	5208	3759	5777	5178
MAY	3254	2661	5777	1528	5219	4423	3868	5518	3876	3370	4445	4065
JUN	3207	2919	2588	2948	2586	3317	1654	2855	3239	2089	2742	2835
JUL	1517	1571	2292	1314	1442	2057	2027	1103	2354	1465	1839	1703
AUG	3120	2704	1381	1664	1562	996	2087	2123	1701	1818	1524	1783
SEP	3394	3014	2208	2426	2624	1994	3058	2435	2805	2244	2449	2571
OCT	2763	5772	69	4307	3271	3634	3575	1775	2115	2453	3425	3034
NOV	3786	6726	400	3634	6520	4524	3890	5004	3039	4012	4348	4171
DEC	2714	6864	6533	8470	4879	7586	6881	2741	4111	874	5267	5325
												49016

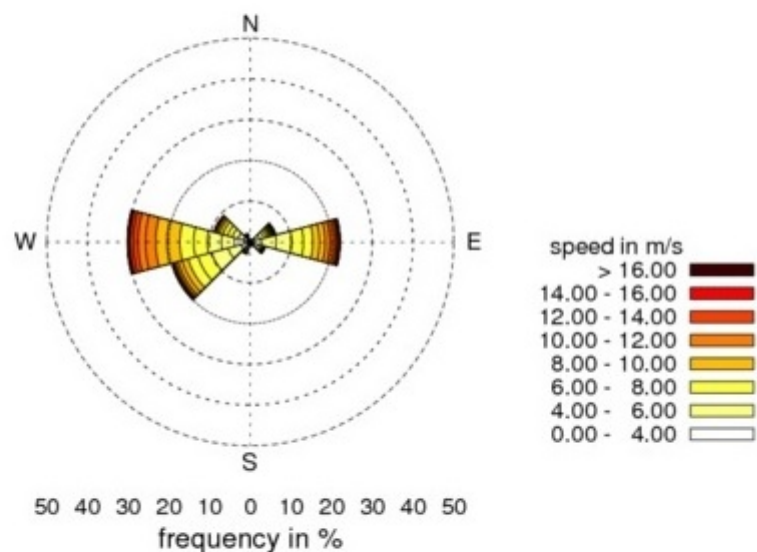
Fig. 12: Producibilità dell'impianto Mineo-Militello-Vizzini (V52 0.85MW HH50m)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	24 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

In un secondo momento, a seguito della stima della producibilità "storica" è stato possibile correggere la prima stima di velocità all'altezza mozzo ricalcolandola proprio in base al dato storico. I dati ottenuti vengono trasformati in modo tale da ottenere delle tabelle di frequenza per bin di direzione e di velocità rappresentative dei sensori di velocità e direzione. Ciò rappresenta l'input fondamentale per il calcolo della risorsa eolica tramite modello CFD.

Si ottiene quindi:

site name	MVC03_50		
filename	6277_MVC03_50		
measurement period	01.01.08 - 01.09.15	# records = 3365405	
position	x = 479661.0	y = 4124966.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.92	A = 6.35	average = 5.78

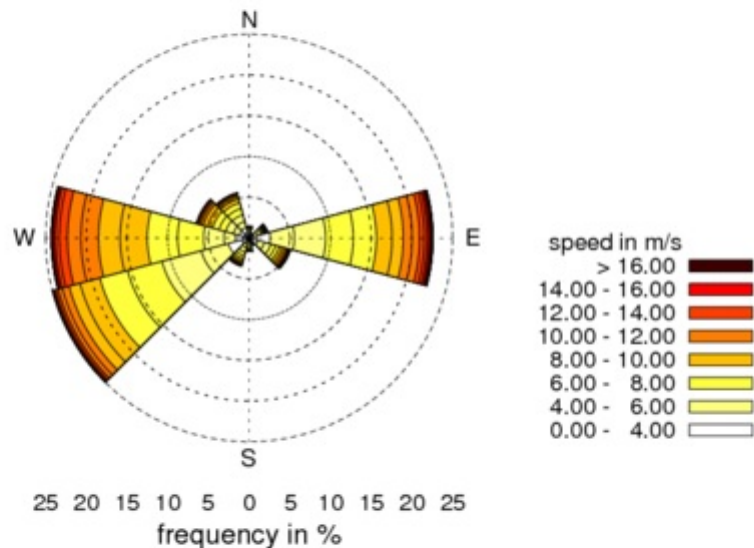


.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.51	1.75	1.62	1.79	1.58	1.53	1.76	2.05	2.10	2.31	2.22	2.30
A	3.68	3.02	5.98	6.39	4.57	3.60	4.79	5.98	5.92	7.47	5.99	5.43
freq	0.6	0.6	6.5	22.1	3.9	0.8	1.2	3.0	19.9	30.1	9.2	2.1
mean	3.34	2.67	5.59	5.97	4.36	3.31	4.41	5.43	5.43	6.57	5.31	4.71

Fig. 13: Tabella di frequenze MCV03-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	25 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

site name	VIZ04_50		
filename	6275_VIZ04_50		
measurement period	01.01.08 - 01.09.15	# records = 3106294	
position	x = 477555.0	y = 4121203.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 2.10	A = 6.65	average = 5.95

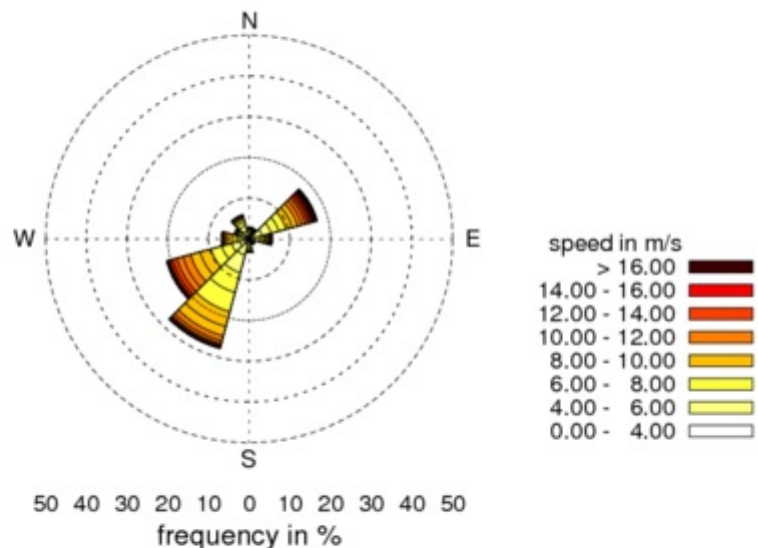


.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.54	1.60	1.23	1.85	1.74	1.60	1.95	1.98	2.27	2.68	2.20	2.20
A	4.31	3.16	5.12	6.60	5.94	5.03	5.36	5.99	6.19	7.90	6.43	5.81
freq	1.5	0.5	2.4	22.6	5.3	1.0	1.7	3.6	25.0	24.3	6.7	5.7
mean	3.93	2.79	5.18	6.10	5.43	4.50	4.79	5.35	5.61	7.05	5.64	5.07

Fig. 14: Tabella di frequenze VIZ04-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	26 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

site name	VIZ07_50		
filename	6276-VIZ07_50		
measurement period	01-01-2008 01-09-2015	# records = 3955702	
position	x = 474466.0	y = 4119123.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.98	A = 7.21	average = 6.53

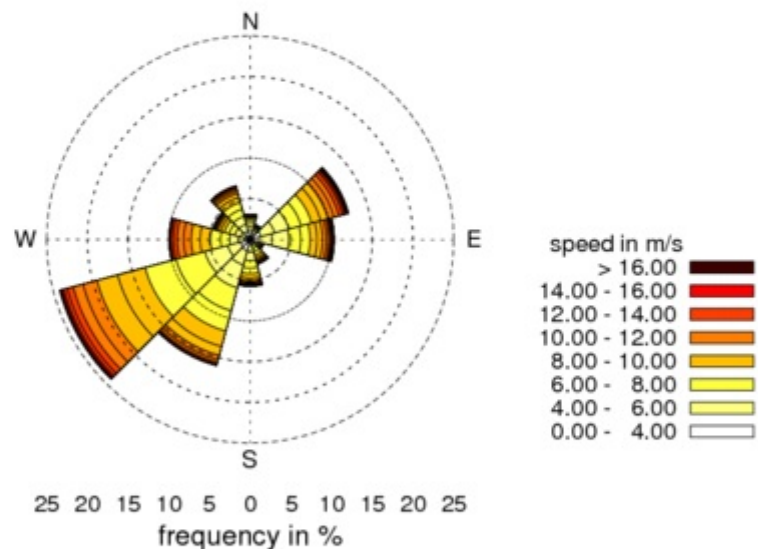


.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.62	1.42	1.70	1.68	1.77	1.46	1.90	2.51	2.63	2.52	2.03	2.10
A	4.72	5.83	8.07	7.23	6.43	5.09	5.85	6.96	8.36	7.33	5.72	5.51
freq	2.8	2.7	17.3	5.6	1.4	1.5	3.4	27.7	20.9	6.8	3.8	6.1
mean	4.42	5.55	7.47	6.69	5.82	4.94	5.33	6.30	7.48	6.47	5.19	5.08

Fig. 15: Tabella di frequenze VIZ07-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	27 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

site name	VIZ02_50		
filename	6274-VIZ02_50_3		
measurement period	01-01-2008 01-09-2015	# records = 3955702	
position	x = 476426.0	y = 4119080.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 2.17	A = 6.96	average = 6.25



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.51	1.49	1.87	1.73	1.66	2.27	1.85	2.60	2.60	2.70	2.15	2.09
A	4.97	4.42	7.11	6.30	5.67	7.01	6.27	6.47	7.64	8.12	6.54	6.56
freq	3.1	1.9	12.5	10.3	1.7	3.1	5.7	16.0	24.2	10.0	4.7	6.8
mean	4.59	4.19	6.48	5.96	5.23	6.26	5.80	5.82	6.90	7.17	5.85	5.86

Fig. 16: Tabella di frequenze VIZ02-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	28 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

In fine con le velocità all'altezza mozzo ricalcolare in base alla stima di producibilità storica è stato possibile ricalcolare un nuovo gradiente al suolo (α : "wind shear exponent".) che meglio rappresentasse il sito nel complesso.

Questo passaggio ci ha consentito di calcolare le velocità medie significative calcolate in diversi punti dell'area dell'impianto alle diverse altezze mozzo studiate (HH=82m, HH=106m, HH110m e HH=112m).

$$V_{HH} = V_{50\text{corretto}} * \left(\frac{HH}{50}\right)^\alpha$$

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	29 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

4 CURVA DI POTENZA

La curva di potenza garantita fornita dal costruttore è valida per una densità dell'aria standard pari a $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$; risulta dunque necessario apportare una correzione in base alla densità prevista nelle zone dell'impianto, stimabili in funzione della quota media (c.a. 610 s.l.m. dell'area d'impianto). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media pari a $\rho = 1,125 \text{ kg/m}^3$.

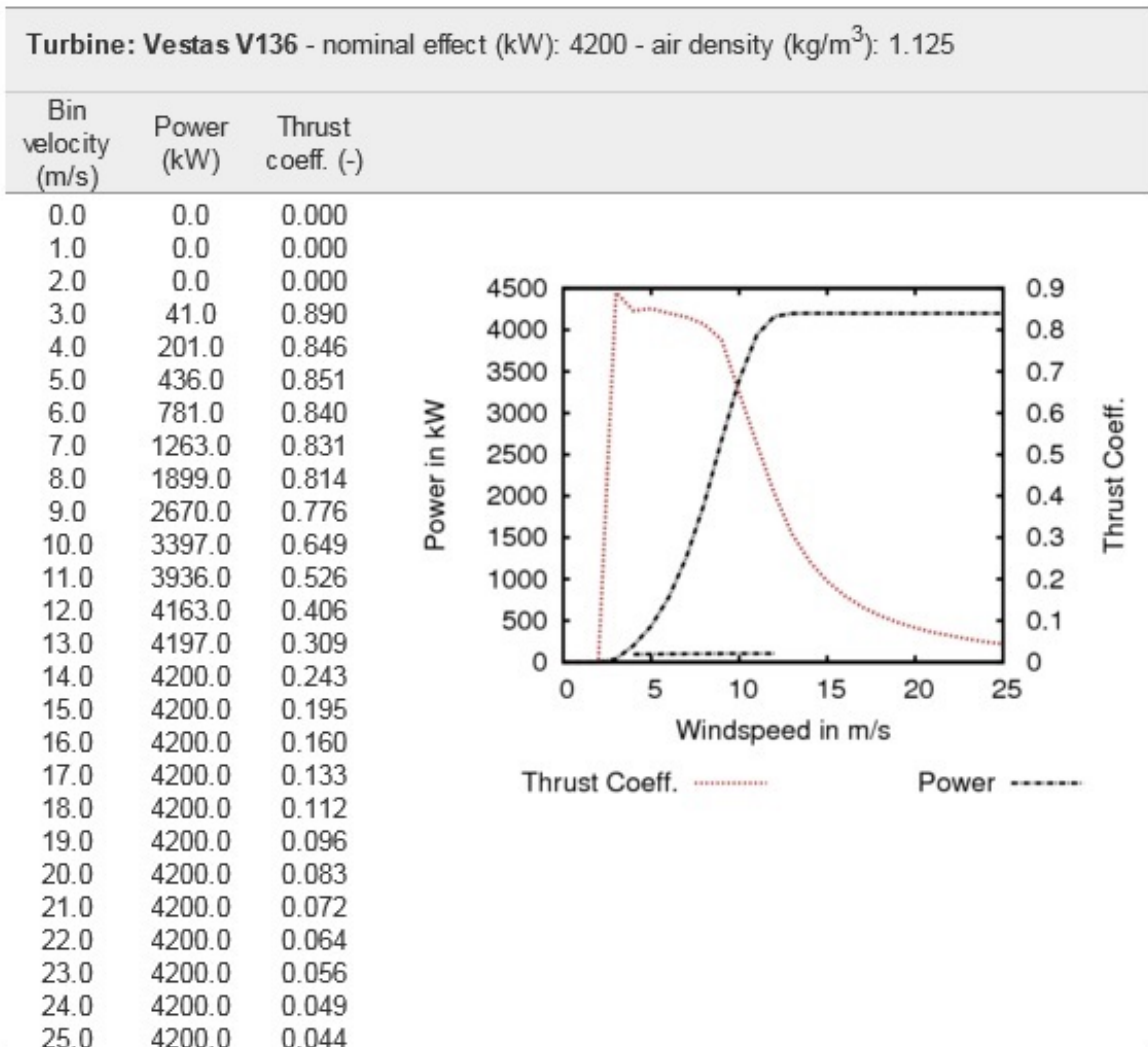


Fig. 17: Aerogeneratore Vestas V136 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	30 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

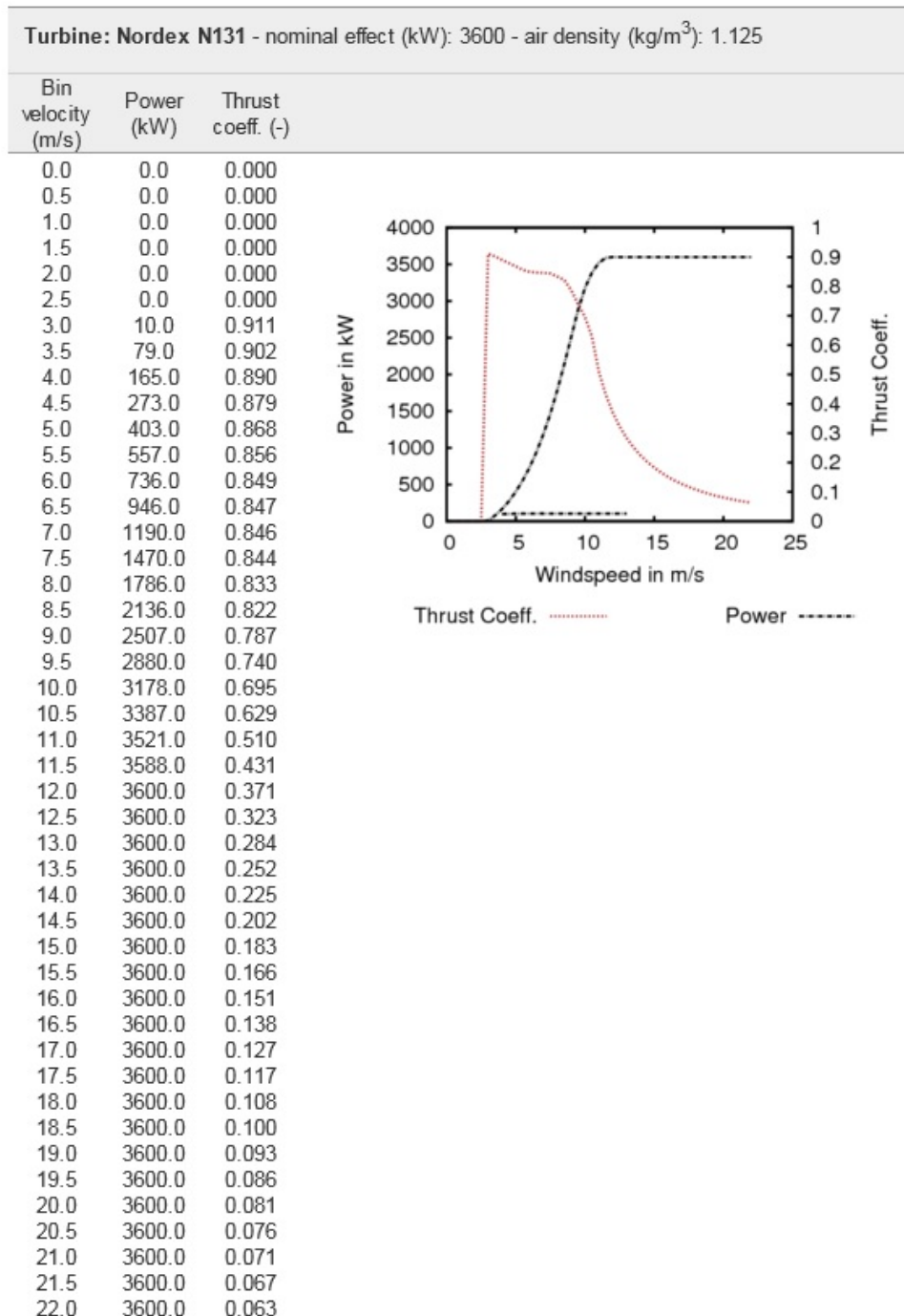


Fig. 18: Aerogeneratore Nordex N131 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	31 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Turbine: Repower M114 - nominal effect (kW): 3600 - air density (kg/m³): 1.125

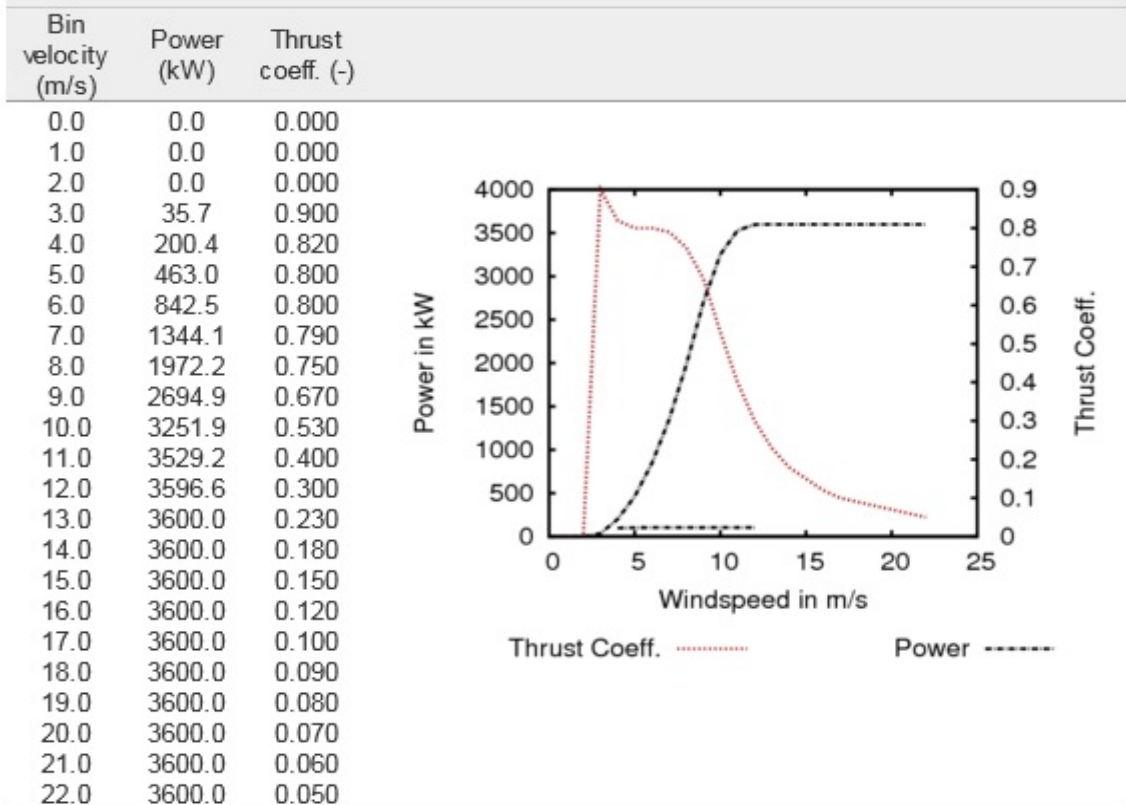


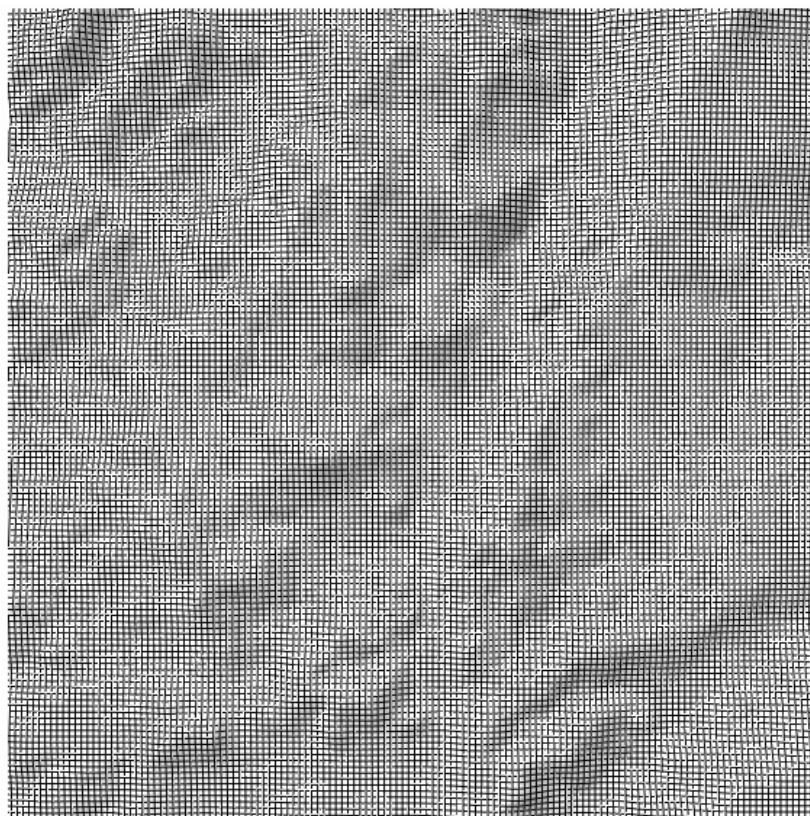
Fig. 19: Aerogeneratore Senvion M140 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	32 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

5 APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD

5.1 Il modello digitale del terreno

Lo studio delle caratteristiche eoliche del sito è stato affrontato con un modello CFD che, a fronte di un dominio di calcolo impostato utilizzando i dati di orografia relativi ad un DTM (Digital Terrain Model) con passo di 20 m, fornisce informazioni sul comportamento del vento nei vari settori di provenienza, nonché i profili verticali della velocità orizzontale nei punti più significativi, quali anemometri e/o aerogeneratori. Di seguito è riportato il dominio di calcolo. Tutte le figure sono riportate per la sotto-area Nord dell'impianto. Lavoro analogo è stato svolto per quella Sud dell'impianto.

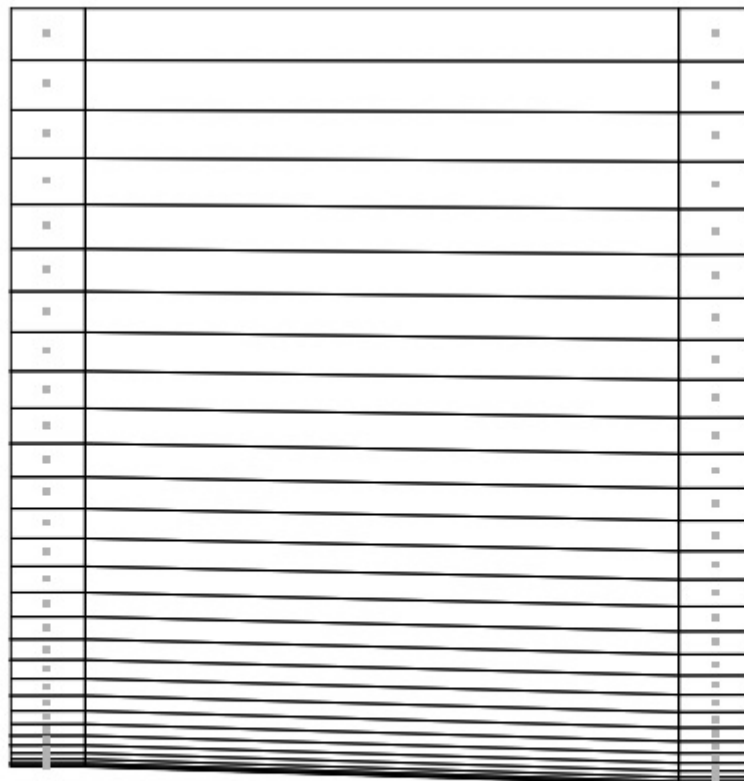


	x	y	z	total
Grid spacing (m)	40.0	40.0	Variable	-
Number of cells	138	138	30	571320

Fig. 20: Mesh orizzontale del dominio di calcolo (area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MMV	ENG	REL	0026	0	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	33 di 54

Di seguito invece la discretizzazione verticale del dominio di calcolo e relativa distanza dal terreno dei primi dieci nodi



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-dist. max (m)	5.0	15.1	43.4	108.0	208.7	345.6	518.7	728.0	973.4	1255.1
z-dist. min (m)	5.0	15.2	44.3	110.3	213.4	353.6	530.9	745.2	996.5	1285.0

Fig. 21: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	34 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

5.2 La rugosità

La lunghezza di rugosità (z_0) è il parametro che caratterizza la superficie su cui spira il vento, maggiore è il suo valore maggiori saranno le asperità del terreno ed i disturbi creati dal suolo al flusso ventoso.

Fisicamente z_0 può essere immaginata come la dimensione del vortice turbolento che viene creato dall'interazione del vento con il suolo, per cui si tratta di una grandezza in grado di intervenire nella modifica della distribuzione verticale della velocità del vento.

Il valore di z_0 è stato standardizzato in base alle tipologie di terreno (categorie di riferimento) che si possono presentare nella realtà ed è riportato in diverse tipologie di classificazioni.

In questo caso, in particolare, si dispone di mappe di rugosità estrapolate da CLC (Corine Land Cover), che si sovrappongono ai DTM indicati in precedenza, in modo da coprire tutto il dominio.

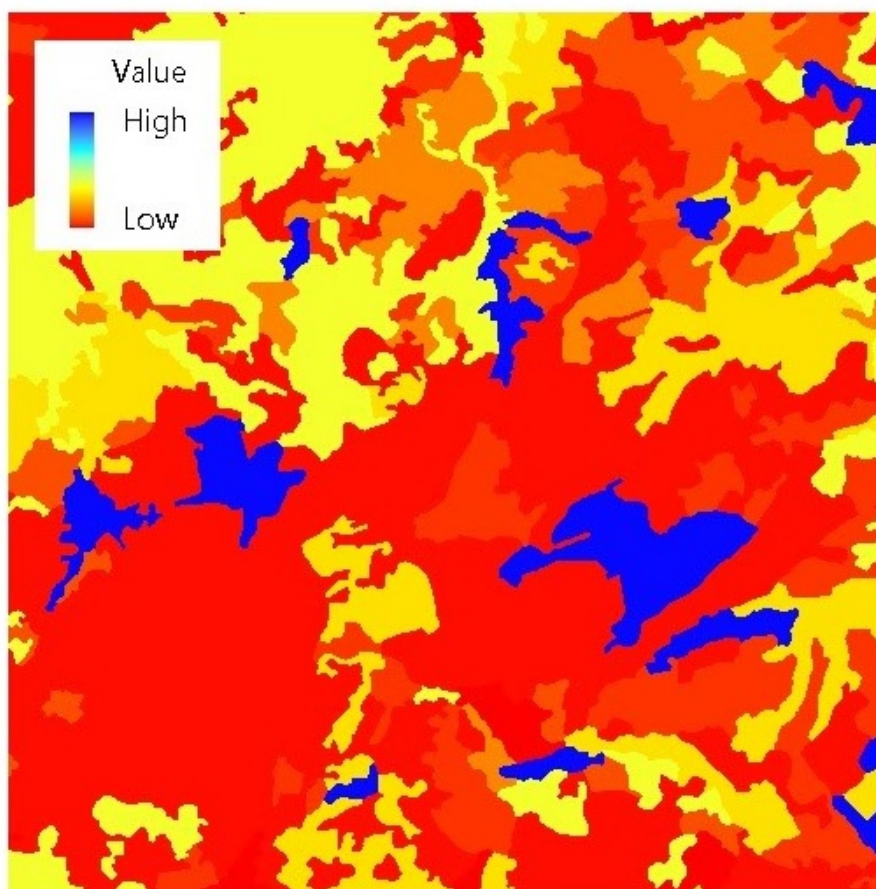


Fig. 22: Mappa di rugosità

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	35 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

5.3 La risorsa eolica

Il calcolo CFD è stato effettuato sui 12 settori di direzione impostando una velocità di 10 m/s come vento geostrofico al di sopra dello strato limite; le rilevazioni anemometriche sono state poi utilizzate per scalare il campo di moto del vento e conseguentemente calcolare la mappa della ventosità media e la produzione attesa dalle singole turbine eoliche.

Di seguito si riporta la mappa di ventosità relativa all'area d'impianto, calcolata a 112 m s.l.s., cioè a quota mozzo della configurazione della Vestas V136.

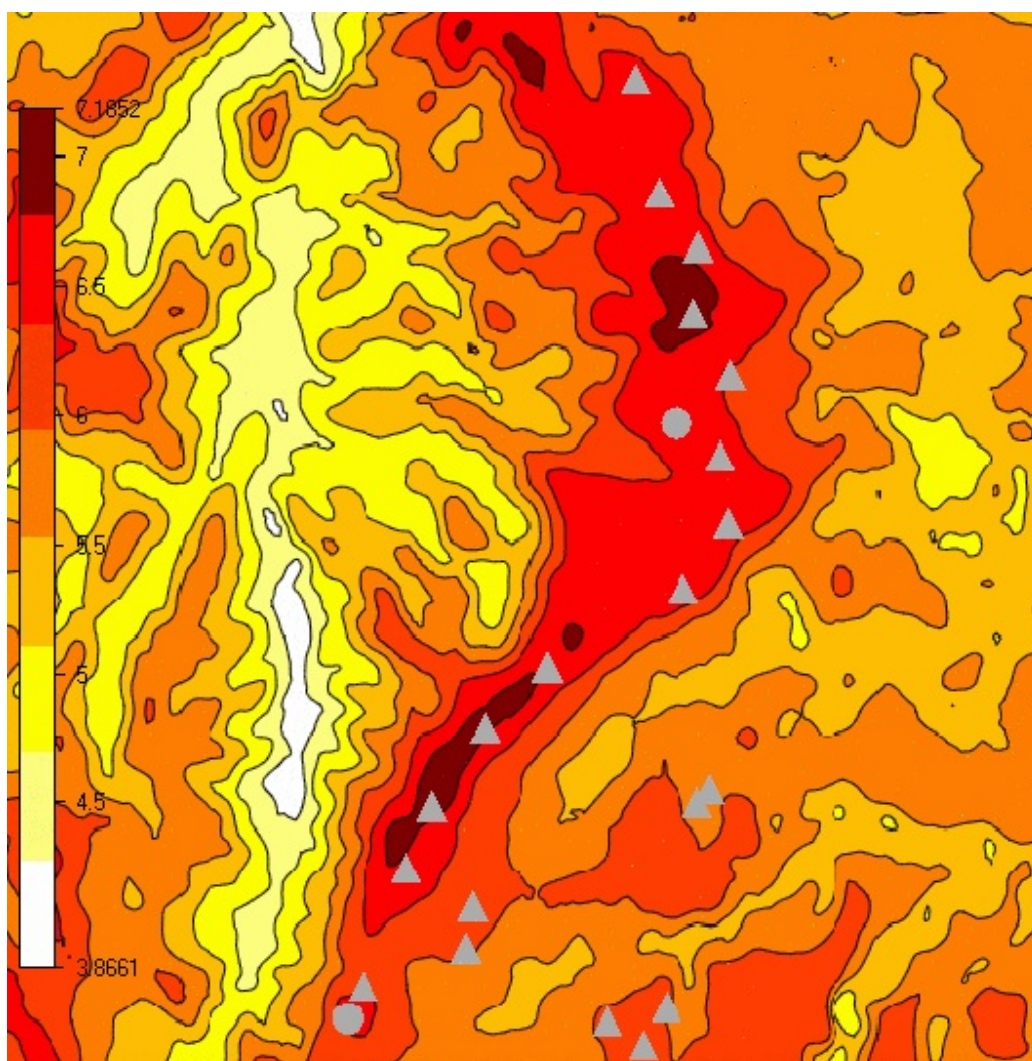


Fig. 23: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s (Area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	36 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

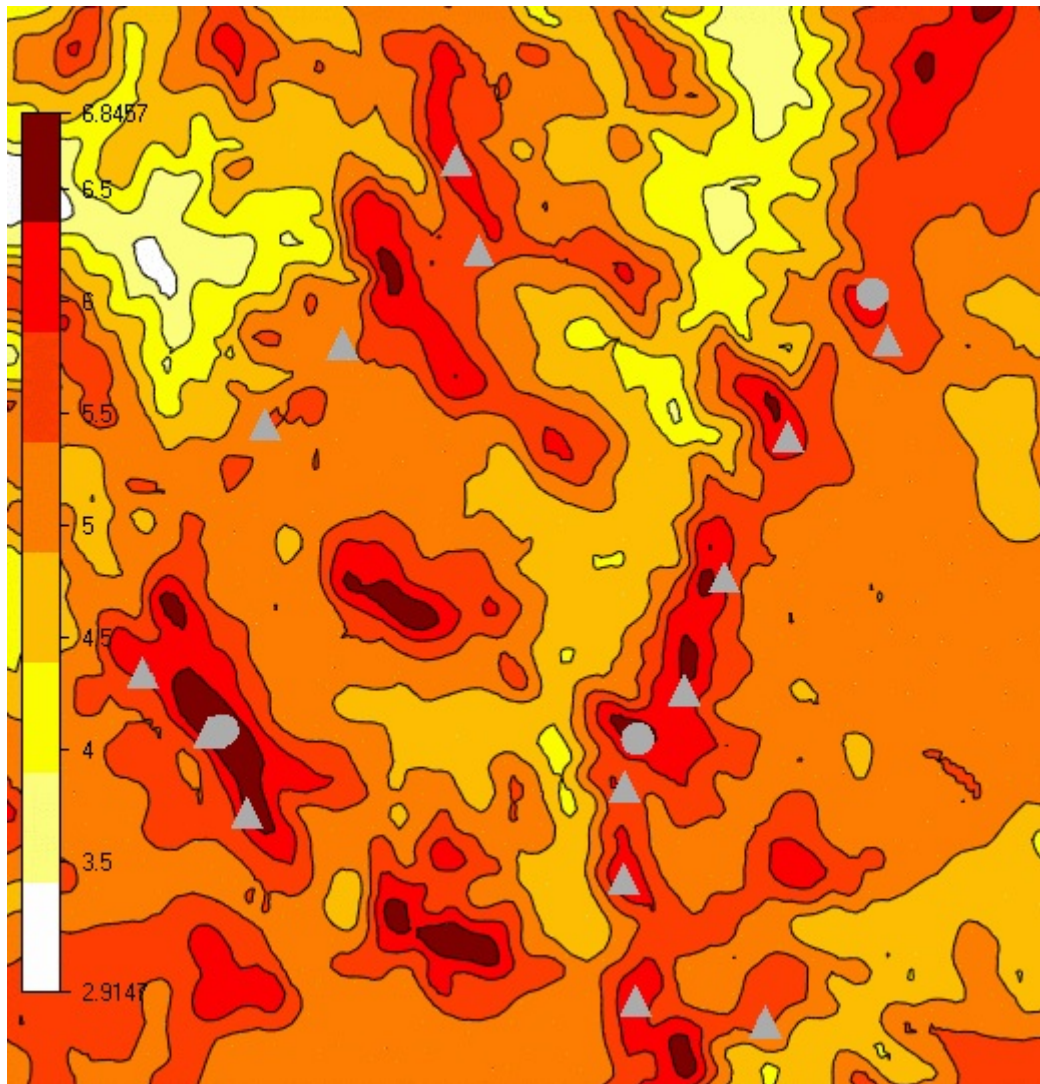


Fig. 24: Mappa di ventosità a 112m s.l.s (Area Sud)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	37 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

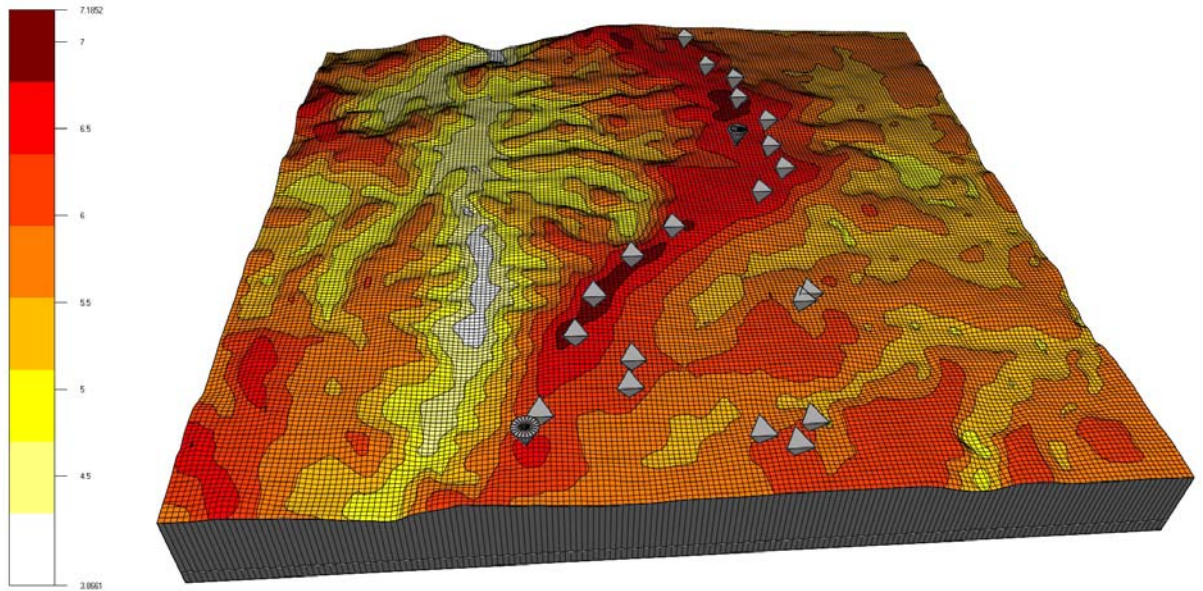


Fig. 25: Mappa 3D di ventosità a 112m s.l.s. – Area di sito Nord

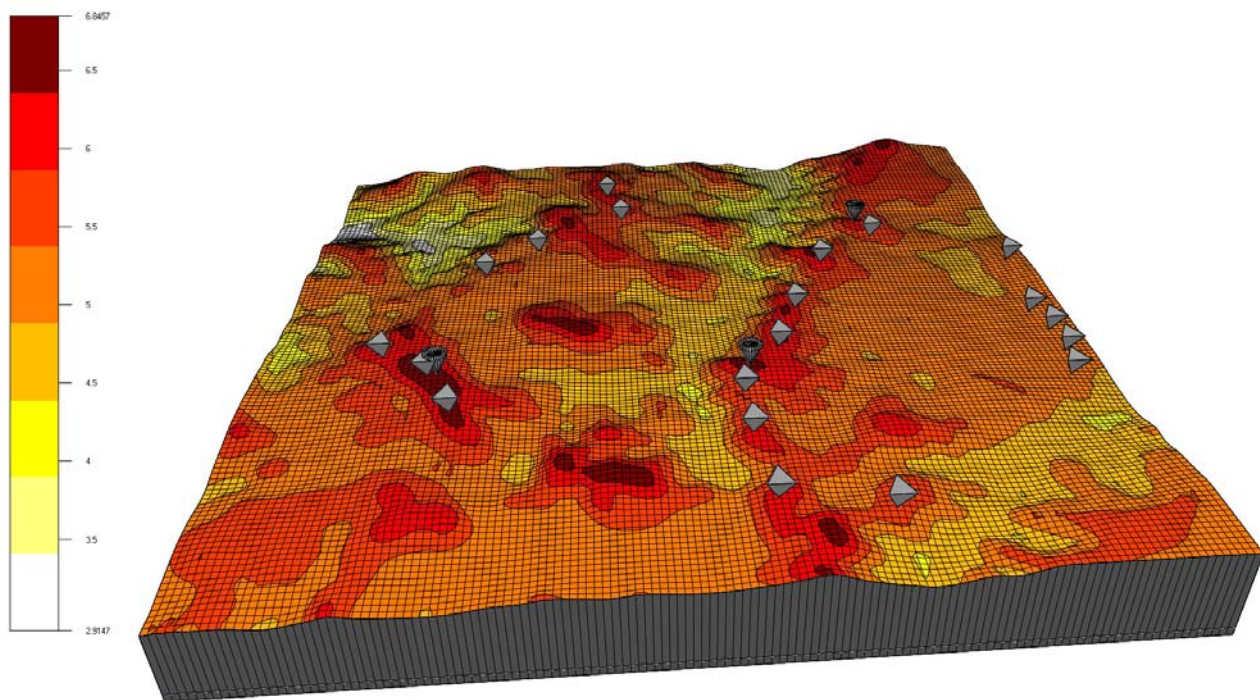


Fig. 26: Mappa 3D di ventosità a 112m s.l.s. – Area di sito Sud

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	38 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

5.4 Risultati del modello

A questo punto sono noti tutti gli elementi per avere una prima stima della producibilità energetica prevista per l'aerogeneratore che rappresenta la media dell'impianto, risultante dalla somma dei prodotti tra il numero di ore/anno e la potenza certificata per ogni bin di velocità del vento:

	V136 4.2 HH82
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	10834
	V136 4.2 HH112
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	11648
	N131 3.6 HH106
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	10527
	M140 3.6 HH 110
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	11286

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	39 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

E' possibile esprimere lo stesso valore sotto forma di producibilità lorda specifica, ovvero riferita ad ogni MW installato:

$$prod_{lorda_specifica} = \frac{prod_{lorda_WTG}}{Pot_{nom_WTG}}$$

	V136 4.2 HH82
Potenza unitaria (MW)	4.20
Producibilità lorda specifica attesa (MWh/anno per MW installato)	2580

	V136 4.2 HH112
Potenza unitaria (MW)	4.20
Producibilità lorda specifica attesa (MWh/anno per MW installato)	2773

	N131 3.6 HH106
Potenza unitaria (MW)	3.60
Producibilità lorda specifica attesa (MWh/anno per MW installato)	2676

	M140 3.6 HH110
Potenza unitaria (MW)	3.60
Producibilità lorda specifica attesa (MWh/anno per MW installato)	3135

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	40 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Le perdite per effetto scia sono calcolate dal software CFD. In questo caso si è preferito utilizzare il modello di Jensen, che è uno dei modelli di calcolo delle scie implementati.

V136 4.2 HH82					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-ML01	6,15	10760	6,12	10656	1,0%
R-ML02	6,24	11074	6,2	10971	0,9%
R-ML03	6,25	11097	6,15	10772	2,9%
R-ML04	6,3	11274	6,24	11072	1,8%
R-ML05	6,44	11751	6,41	11671	0,7%
R-ML06	5,88	9837	5,84	9741	1,0%
R-ML07	6,07	10470	6,04	10387	0,8%
R-ML08	6,16	10742	6,12	10624	1,1%
R-ML09	6,27	11098	6,19	10807	2,6%
R-ML10	6,38	11465	6,31	11237	2,0%
R-VZ11	6,46	11755	6,43	11656	0,8%
R-VZ12	6,8	12935	6,75	12783	1,2%
R-VZ13	6,35	11358	6,3	11196	1,4%
R-VZ14	6,05	10287	6,02	10166	1,2%
R-VZ15	5,99	10043	5,87	9644	4,0%
R-VZ16	6,36	11219	6,27	10902	2,8%
R-VZ17	6,32	11025	6,17	10563	4,2%
R-VZ18	6,47	11457	6,24	10727	6,4%
R-VZ19	6,05	9990	6,00	9849	1,4%
R-VZ20	6,32	10919	6,26	10755	1,5%
R-VZ21	6,27	10761	6,16	10395	3,4%
R-MI22	5,94	9566	5,84	9180	4,0%
R-MI23	6,35	11010	6,24	10627	3,5%
R-MI24	5,88	9338	5,71	8738	6,4%
R-MI25	5,5	8083	5,3	7477	7,5%
R-VZ26	5,66	8503	5,54	8158	4,1%
R-VZ27	6,38	11014	6,36	10940	0,7%
R-VZ28	6,91	12943	6,84	12695	1,9%
R-VZ29	6,76	12414	6,67	12157	2,1%
Media	6,24	10834	6,16	10570	2,5%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	41 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

V136 4.2 HH112					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-ML01	6,43	11708	6,4	11597	0,9%
R-ML02	6,49	11935	6,46	11824	0,9%
R-ML03	6,51	11977	6,41	11626	2,9%
R-ML04	6,55	12116	6,48	11896	1,8%
R-ML05	6,69	12588	6,67	12519	0,6%
R-ML06	6,19	10904	6,15	10775	1,2%
R-ML07	6,34	11423	6,31	11329	0,8%
R-ML08	6,39	11556	6,35	11431	1,1%
R-ML09	6,48	11826	6,39	11509	2,7%
R-ML10	6,59	12196	6,52	11945	2,1%
R-VZ11	6,69	12538	6,65	12408	1,0%
R-VZ12	6,96	13484	6,92	13327	1,2%
R-VZ13	6,62	12325	6,58	12157	1,4%
R-VZ14	6,32	11258	6,29	11131	1,1%
R-VZ15	6,32	11215	6,19	10749	4,2%
R-VZ16	6,5	11757	6,42	11455	2,6%
R-VZ17	6,53	11800	6,39	11352	3,8%
R-VZ18	6,58	11938	6,38	11291	5,4%
R-VZ19	6,24	10738	6,16	10492	2,3%
R-VZ20	6,39	11286	6,32	11056	2,0%
R-VZ21	6,44	11456	6,31	11035	3,7%
R-MI22	6,16	10396	6,06	10000	3,8%
R-MI23	6,5	11602	6,38	11218	3,3%
R-MI24	6,2	10573	6,02	9877	6,6%
R-MI25	5,92	9587	5,74	8983	6,3%
R-VZ26	5,95	9618	5,86	9301	3,3%
R-VZ27	6,6	11860	6,58	11776	0,7%
R-VZ28	7,02	13325	6,94	13063	2,0%
R-VZ29	6,85	12811	6,75	12520	2,3%
Media	6,46	11648	6,38	11367	2,5%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	42 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

N131 3.6 HH106					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-ML01	6,38	10459	6,35	10356	1,0%
R-ML02	6,45	10685	6,41	10582	1,0%
R-ML03	6,46	10715	6,36	10390	3,0%
R-ML04	6,51	10852	6,44	10652	1,8%
R-ML05	6,65	11260	6,63	11200	0,5%
R-ML06	6,14	9740	6,1	9638	1,1%
R-ML07	6,3	10212	6,27	10130	0,8%
R-ML08	6,35	10369	6,32	10255	1,1%
R-ML09	6,44	10635	6,36	10351	2,7%
R-ML10	6,56	10945	6,49	10711	2,1%
R-VZ11	6,65	11245	6,62	11125	1,1%
R-VZ12	6,93	12129	6,89	11980	1,2%
R-VZ13	6,57	11036	6,53	10885	1,4%
R-VZ14	6,27	10090	6,24	9974	1,1%
R-VZ15	6,26	10192	6,13	9754	4,3%
R-VZ16	6,46	10749	6,38	10464	2,6%
R-VZ17	6,48	10753	6,34	10332	3,9%
R-VZ18	6,54	10911	6,34	10289	5,7%
R-VZ19	6,19	9808	6,11	9573	2,4%
R-VZ20	6,36	10339	6,28	10119	2,1%
R-VZ21	6,39	10454	6,26	10057	3,8%
R-MI22	6,1	9489	6	9117	3,9%
R-MI23	6,46	10583	6,35	10225	3,4%
R-MI24	6,14	9601	5,98	9021	6,0%
R-MI25	5,85	8669	5,66	8099	6,6%
R-VZ26	5,89	8749	5,86	8648	1,2%
R-VZ27	6,55	10811	6,53	10753	0,5%
R-VZ28	6,99	12133	6,91	11893	2,0%
R-VZ29	6,82	11679	6,74	11450	2,0%
Media	6,42	10527	6,34	10277	2,4%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	43 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

M140 3.6 HH110					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-ML01	6,42	11251	6,39	11155	0,9%
R-ML02	6,49	11479	6,45	11383	0,8%
R-ML03	6,5	11514	6,41	11204	2,7%
R-ML04	6,54	11652	6,48	11455	1,7%
R-ML05	6,68	12056	6,66	11994	0,5%
R-ML06	6,18	10539	6,14	10422	1,1%
R-ML07	6,33	11025	6,31	10942	0,7%
R-ML08	6,38	11165	6,35	11058	1,0%
R-ML09	6,47	11422	6,39	11140	2,5%
R-ML10	6,59	11742	6,52	11525	1,9%
R-VZ11	6,69	12068	6,65	11957	0,9%
R-VZ12	6,96	12934	6,92	12800	1,0%
R-VZ13	6,61	11904	6,57	11754	1,3%
R-VZ14	6,31	10966	6,28	10847	1,1%
R-VZ15	6,31	10923	6,19	10482	4,0%
R-VZ16	6,5	11438	6,42	11168	2,4%
R-VZ17	6,52	11458	6,39	11044	3,6%
R-VZ18	6,58	11610	6,4	11020	5,1%
R-VZ19	6,23	10530	6,16	10309	2,1%
R-VZ20	6,39	11034	6,32	10828	1,9%
R-VZ21	6,43	11175	6,31	10806	3,3%
R-MI22	6,15	10218	6,06	9891	3,2%
R-MI23	6,49	11260	6,39	10910	3,1%
R-MI24	6,19	10348	6,03	9736	5,9%
R-MI25	5,91	9408	5,74	8872	5,7%
R-VZ26	5,95	9465	5,85	9143	3,4%
R-VZ27	6,6	11531	6,57	11458	0,6%
R-VZ28	7,02	12817	6,95	12585	1,8%
R-VZ29	6,85	12366	6,76	12106	2,1%
Media	6,46	11286	6,38	11034	2,3%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	44 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

6 ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE

L'output del modello, in termini di energia annua producibile, deve essere decurtato di tutte le perdite esterne, al fine di poter determinare la producibilità annua netta, meglio nota come P50.

Le perdite esterne, oltre alle perdite per effetto scia di cui si è già parlato in precedenza, vengono suddivise in:

	V136 HH82
Perdite per effetto scia	2,53%
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3,00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3,20%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	1,50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0,20%
Perdite dovute al rumore	1,00%
Totale perdite escluso scie	8,62%
Totale perdite	10,93%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	45 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

	V136 HH112
Perdite per effetto scia	2,48%
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3,00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3,20%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	1,50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0,20%
Perdite dovute al rumore	1,00%
Totale perdite escluso scie	8,62%
Totale perdite	10,89%

	N131
Perdite per effetto scia	2,43%
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3,00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3,20%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	1,50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0,20%
Perdite dovute al rumore	1,00%
Totale perdite escluso scie	8,62%
Totale perdite	10,84%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	46 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

	M140
Perdite per effetto scia	2,28%
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3,00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3,20%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	1,50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0,20%
Perdite dovute al rumore	1,00%
Totale perdite escluso scie	8,62%
Totale perdite	10,71%

La produzione netta attesa, ovvero quella che viene ritenuta più probabile, risulta quindi pari a:

	V136 HH82
Produzione netta WTG P50 (MWh/anno/WTG)	9659

	V136 HH112
Produzione netta WTG P50 (MWh/anno/WTG)	10387

	N131
Produzione netta WTG P50 (MWh/anno/WTG)	9391

	M140
Produzione netta WTG P50 (MWh/anno/WTG)	10083

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	47 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Da cui risulta il valore della producibilità netta P50 specifica per ogni MW installato:

$$Pr od_{netta_specifica} = \frac{Pr od_{netta_WTG}}{Pot_{nom_WTG}}$$

V136 HH82	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-ML01	6,12	2318
R-ML02	6,20	2387
R-ML03	6,15	2344
R-ML04	6,24	2409
R-ML05	6,41	2539
R-ML06	5,84	2119
R-ML07	6,04	2260
R-ML08	6,12	2312
R-ML09	6,19	2351
R-ML10	6,31	2445
R-VZ11	6,43	2536
R-VZ12	6,75	2781
R-VZ13	6,30	2436
R-VZ14	6,02	2212
R-VZ15	5,87	2098
R-VZ16	6,27	2372
R-VZ17	6,17	2298
R-VZ18	6,24	2334
R-VZ19	6,00	2143
R-VZ20	6,26	2340
R-VZ21	6,16	2262
R-MI22	5,84	1997
R-MI23	6,24	2312
R-MI24	5,71	1901
R-MI25	5,30	1627
R-VZ26	5,54	1775
R-VZ27	6,36	2380
R-VZ28	6,84	2762
R-VZ29	6,67	2645
Media	6,16	2300

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	48 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
V136 HH112	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-ML01	6,40	2523
R-ML02	6,46	2573
R-ML03	6,41	2529
R-ML04	6,48	2588
R-ML05	6,67	2724
R-ML06	6,15	2344
R-ML07	6,31	2465
R-ML08	6,35	2487
R-ML09	6,39	2504
R-ML10	6,52	2599
R-VZ11	6,65	2700
R-VZ12	6,92	2900
R-VZ13	6,58	2645
R-VZ14	6,29	2422
R-VZ15	6,19	2339
R-VZ16	6,42	2492
R-VZ17	6,39	2470
R-VZ18	6,38	2457
R-VZ19	6,16	2283
R-VZ20	6,32	2405
R-VZ21	6,31	2401
R-MI22	6,06	2176
R-MI23	6,38	2441
R-MI24	6,02	2149
R-MI25	5,74	1954
R-VZ26	5,86	2024
R-VZ27	6,58	2562
R-VZ28	6,94	2842
R-VZ29	6,75	2724
Media	6,38	2473

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	49 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-ML01	6,35	2629
R-ML02	6,41	2686
R-ML03	6,36	2637
R-ML04	6,44	2704
R-ML05	6,63	2843
R-ML06	6,10	2446
R-ML07	6,27	2571
R-ML08	6,32	2603
R-ML09	6,36	2627
R-ML10	6,49	2719
R-VZ11	6,62	2824
R-VZ12	6,89	3041
R-VZ13	6,53	2763
R-VZ14	6,24	2532
R-VZ15	6,13	2476
R-VZ16	6,38	2656
R-VZ17	6,34	2623
R-VZ18	6,34	2612
R-VZ19	6,11	2430
R-VZ20	6,28	2569
R-VZ21	6,26	2553
R-MI22	6,00	2314
R-MI23	6,35	2595
R-MI24	5,98	2290
R-MI25	5,66	2056
R-VZ26	5,86	2195
R-VZ27	6,53	2730
R-VZ28	6,91	3019
R-VZ29	6,74	2906
Media	6,34	2609

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	50 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

M140	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-ML01	6,39	2832
R-ML02	6,45	2889
R-ML03	6,41	2844
R-ML04	6,48	2908
R-ML05	6,66	3044
R-ML06	6,14	2645
R-ML07	6,31	2777
R-ML08	6,35	2807
R-ML09	6,39	2828
R-ML10	6,52	2925
R-VZ11	6,65	3035
R-VZ12	6,92	3249
R-VZ13	6,57	2984
R-VZ14	6,28	2753
R-VZ15	6,19	2661
R-VZ16	6,42	2835
R-VZ17	6,39	2803
R-VZ18	6,40	2797
R-VZ19	6,16	2617
R-VZ20	6,32	2748
R-VZ21	6,31	2743
R-MI22	6,06	2511
R-MI23	6,39	2769
R-MI24	6,03	2471
R-MI25	5,74	2252
R-VZ26	5,85	2321
R-VZ27	6,57	2909
R-VZ28	6,95	3194
R-VZ29	6,76	3073
Media	6,38	2801

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	51 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Moltiplicando la produzione netta del WTG per il numero di WTG dell'impianto si ottiene la stima P50 della produzione netta dell'impianto:

$$Pr od_{netta_tot} = Pr od_{netta_WTG} \times N_{WTG}$$

	V136 HH82
Numero aerogeneratori	29
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	280117

	V136 HH112
Numero aerogeneratori	29
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	301224

	N131
Numero aerogeneratori	29
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	272330

	M140
Numero aerogeneratori	29
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	292408

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	52 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

Una volta ottenuto il valore P50, rappresentativo di tutto l'impianto, vengono individuati i relativi valori di producibilità P65.2 P75 e P90, a valle di una specifica analisi di incertezza (o analisi di confidenza).

Questo tipo di analisi, individua tre differenti macroaree, per ognuna delle quali viene determinata la relativa incertezza di calcolo. Si riportano i valori per le diverse configurazioni:

	V136 HH82
incertezza sulla storicizzazione del sito	4,8%
incertezza sul processo di micrositing	12,4%
Incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%
Incertezza complessiva	14,2%

	V136 HH112
incertezza sulla storicizzazione del sito	4,8%
incertezza sul processo di micrositing	16,0%
Incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%
Incertezza complessiva	17,4%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	53 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

	N131
incertezza sulla storicizzazione del sito	4,8%
incertezza sul processo di micrositing	15,3%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%
Incetenza complessiva	16,8%

	M140
incertezza sulla storicizzazione del sito	4,8%
incertezza sul processo di micrositing	15,7%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%
Incetenza complessiva	17,2%

Tale valore è ottenuto come somma statistica delle diverse componenti. Considerando proprio l'incertezza complessiva ottenuta, si possono infine determinare, a partire dal P50, i percentili P62.5, P75 e P90 della gaussiana.

	V136 HH82
P50 (ore equivalenti)	2300
P62.5 (ore equivalenti)	2196
P75 (ore equivalenti)	2079
P90 (ore equivalenti)	1881

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MINEO-MILITELLO-VIZZINI (CT) Stima della Producibilità Energetica del impianto eolico ripotenziato	54 di 54
MMV	ENG	REL	0026	0		

	V136 HH112
P50 (ore equivalenti)	2473
P62.5 (ore equivalenti)	2336
P75 (ore equivalenti)	2182
P90 (ore equivalenti)	1921

	N131
P50 (ore equivalenti)	2609
P62.5 (ore equivalenti)	2469
P75 (ore equivalenti)	2314
P90 (ore equivalenti)	2048

	M140
P50 (ore equivalenti)	2801
P62.5 (ore equivalenti)	2647
P75 (ore equivalenti)	2476
P90 (ore equivalenti)	2183