



FORENZA MASCHITO (PZ)

STUDIO ANEMOLOGICO *Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità*

0	14/06/2019	Bozza	MBB	FC	CD
REV.	DATA	ATTIVITÀ	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	PAGINA
PRG	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV	A.5-Studio Anemologico	1 di 54
FOR	ENG	REL	0001	0		

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	2 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RAPPRESENTAZIONE DEL SITO	4
2.1	Descrizione del sito	4
2.2	Layout	8
2.3	Aerogeneratori adottati	9
2.4	Allacciamento alla rete elettrica	14
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	15
3.1	Strumenti utilizzati	15
3.2	Raccolta dei dati e validazione	18
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	19
4	CURVA DI POTENZA	27
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	32
5.1	Il modello digitale del terreno	32
5.2	La rugosità	37
5.3	La risorsa eolica	38
5.4	Risultati del modello	41
6	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE	46

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	3 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	4 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente è situato nella provincia di Potenza e comprende due comuni: Forenza e Maschito. L'impianto attualmente è costituito da 60 macchine Vestas V47 di potenza complessiva di 39,6 MW.

Il nuovo layout ripotenziato si sviluppa nell'area del parco già esistente e prevede un numero totale di 12 aereogeneratori multi-megawatt nell'area del comune di Forenza. Saranno invece preservati i 24 aerogeneratori Vestas V47 in area Maschito.

L'impianto può essere suddiviso in tre aree: un'area Nord, una centrale e una Sud.

La prima area d'impianto si trova all'interno del comune di Maschito ed è composta da tre file di macchine che si estendono su tre crinali distinti. La macchina più vicina a Maschito è situata a 2,3 km in direzione Ovest.

L'area centrale si trova a cavallo dei due comuni interessati: nove macchine di quest'area si trovano nel comune di Maschito mentre le restanti si trovano nel comune di Forenza. La macchina più vicina a Forenza si trova ad 1,5 km in direzione Nord Ovest. L'area si sviluppa su un unico crinale.

La terza area d'impianto si sviluppa sul un crinale di 2 km, all'interno del comune di Forenza. La turbina più vicino al centro di Forenza si trova a 1,6 km in direzione Sud-Est.

L'orografia dell'intera area di impianto è quella caratteristica di una zona collinare con altopiani e avvallamenti che si susseguono in modo irregolare.

Una vasta zona boschiva si estende lungo tutto il lato occidentale dell'area di impianto. La vegetazione è costituita da 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.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	5 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

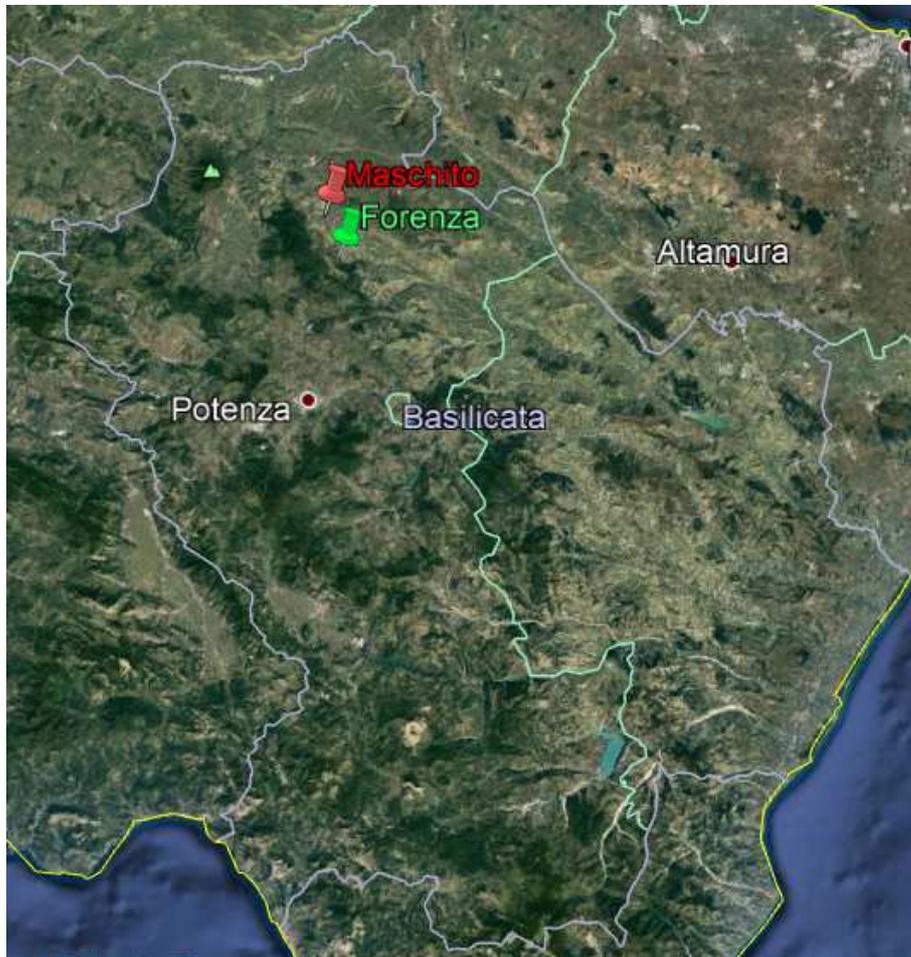


Figura 1: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico	6 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

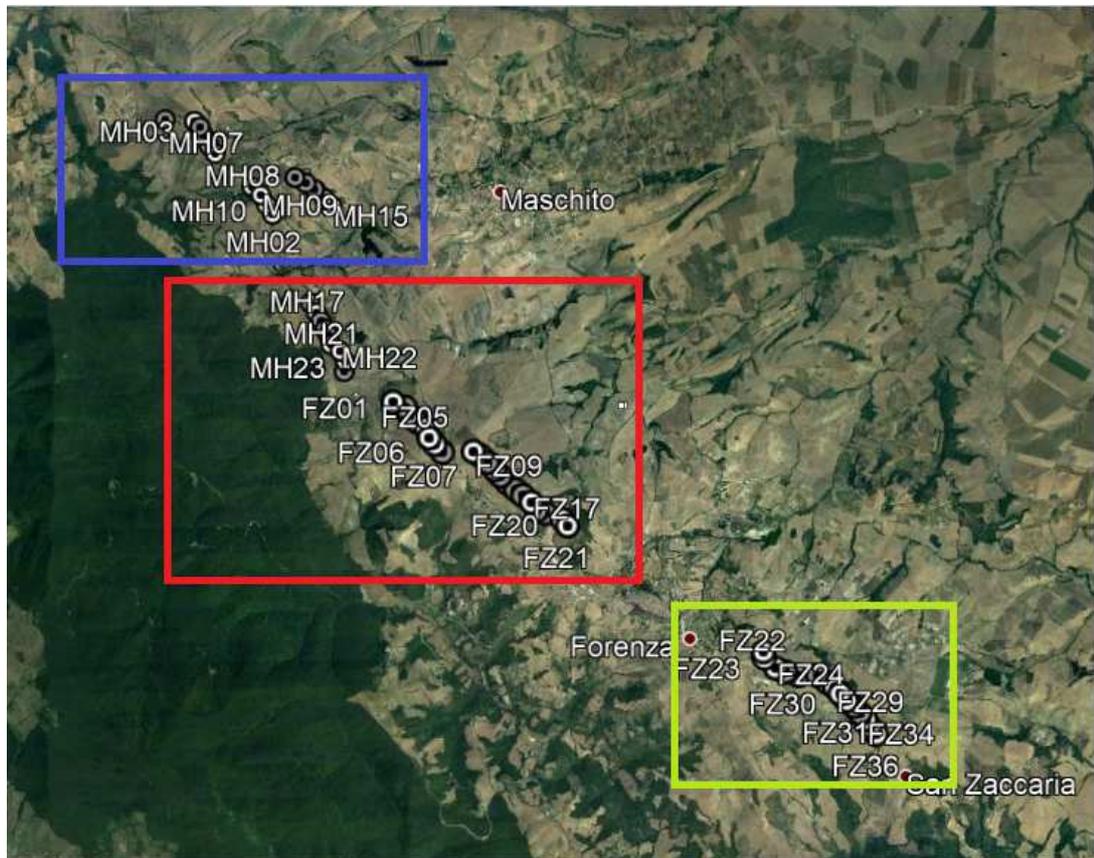


Figura 2: Inquadramento del sito: suddivisione delle tre aree (Maschito settentrionale-in blu; Forenza Maschito centrale- in rosso; Forenza meridionale in verde)



Figura 3: Inquadramento del sito: Maschito settentrionale (vista da Nord Ovest)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	7 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		



Figura 4: Inquadramento del sito: Forenza-Maschito centrale (vista da Nord Ovest)



Figura 5: Inquadramento del sito Forenza meridionale (vista da Nord-Ovest)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	8 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

2.2 Layout

Il nuovo layout di impianto è composto da N. 36 aerogeneratori, 12 multi-megawatt e 24 originali, dislocati all'interno di territori comunali di Forenza e Maschito.

Gli aerogeneratori (esistenti e anche quelli futuri) sono disposti in 3 aree separate come mostrate nelle Fig. 1 (a-b-c-d).

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG	E	N	
R-FZ01	568497	4526270	866.9
R-FZ02	568822	4525979	852.0
R-FZ03	569118	4525690	874.9
R-FZ04	569551	4525611	853.8
R-FZ05	569902	4525346	840.0
R-FZ06	570169	4525108	826.4
R-FZ07	570492	4524813	826.2
R-FZ08	570859	4524668	827.8
R-FZ09	573808	4522636	809.0
R-FZ10	574231	4522589	824.0
R-FZ11	574609	4522295	815.1
R-FZ12	574896	4522062	795.4
MH_01	565454	4529968	755.2
MH_02	566922	4528710	783.7
MH_03	565859	4529958	788.7
MH_04	565936	4529873	776.9
MH_05	565972	4529767	763.4
MH_06	566058	4529624	745.4
MH_07	566135	4529523	741.7
MH_08	566638	4529086	797.6
MH_09	566765	4528969	802.0
MH_10	566842	4528841	802.0
MH_11	567216	4529220	771.8
MH_12	567362	4529141	771.2
MH_13	567473	4529047	748.5
MH_14	567596	4528935	737.5
MH_15	567700	4528840	720.3
MH_16	567439	4527519	765.5
MH_17	567529	4527391	787.3
MH_18	567583	4527281	809.8
MH_19	567656	4527173	825.3
MH_20	567702	4527086	844.5
MH_21	567744	4526963	859.8
MH_22	567863	4526875	879.1
MH_23	567936	4526739	873.1
MH_24	567924	4526603	845.4

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	9 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

2.3 Aerogeneratori adottati

Per la stima di producibilità energetica di Forenza-vengono prese in esame quattro diverse tipologie di aerogeneratori. Di seguito si riportano le relative caratteristiche e curve di potenza garantite dal costruttore a densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ kg/m}^3$). Di seguito la curva di potenza del primo modello analizzato, V136, fornita dal costruttore alla densità media di sito:

Modello	V136
Produttore	Vesats
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	136
Altezza del mozzo (m)	112

Velocità del vento (m/s)	V136 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	41
4	201
5	436
6	781
7	1263
8	1899
9	2670
10	3397
11	3936
12	4163
13	4197
14	4200
15	4200
16	4200
17	4200
18	4200
19	4200
20	4200
21	4200
22	4200
23	4200
24	4200
25	4200

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	10 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Il secondo aerogeneratore preso in esame è Nordex N131 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

Modello	N131 3.9
Produttore	Nordex
Potenza (MW)	3.9
Diametro (m)	131
Altezza del mozzo (m)	114

Velocità del vento (m/s)	N131 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	14
4	165
5	408
6	764
7	1205
8	1807
9	2537
10	3281
11	3730
12	3892
13	3900
14	3900
15	3900
16	3900
17	3900
18	3900
19	3900
20	3900
21	3771
22	3327
23	2906
24	2855
25	2820

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	11 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Il terzo aerogeneratore preso in esame è Servion M140 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.120 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

Modello	M140
Produttore	Servion
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	140
Altezza del mozzo (m)	110

Velocità del vento (m/s)	M140 [$\rho=1.120 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	24
4	191
5	446
6	829
7	1329
8	1975
9	2802
10	3591
11	4097
12	4200
13	4200
14	4200
15	4200
16	4200
17	4200
18	4200
19	4200
20	4200
21	4200
22	3948
23	3360
24	2520
25	1680
26	840

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	12 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Il quarto aerogeneratore preso in esame è Simens Gamesa SG145 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.120 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

Modello	SG145
Produttore	Siemens-Gamesa
Potenza (MW)	4.5
Diametro (m)	145
Altezza del mozzo (m)	107.5

Velocità del vento (m/s)	SG145[$\rho=1.120 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	48
4	217
5	503
6	918
7	1494
8	2244
9	3103
10	3877
11	4348
12	4480
13	4495
14	4499
15	4500
16	4500
17	4500
18	4499
19	4495
20	4475
21	4423
22	4326
23	4185
24	4020
25	3856
26	3709
27	3593

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	13 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Per i vecchi aerogeneratori V47 dell'impianto esistente a Maschito è stata adottata la seguente curva di potenza.

Modello	V47
Produttore	Vestas
Potenza (MW)	0.66
Diametro (m)	47
Altezza del mozzo (m)	50

Velocità del vento (m/s)	V47 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
4	2.4
5	38.8
6	85
7	145
8	219
9	302
10	389
11	471
12	543
13	597
14	631
15	648
16	656
17	659
18	660
19	660
20	660
21	660
22	660
23	660
24	660
25	660

Per un ulteriore approfondimento delle curve utilizzate nel software con cui è stata effettuata l'analisi fluidodinamica si rimanda al capitolo 5.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	14 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

2.4 Allacciamento alla rete elettrica

L'impianto attuale è connesso alla adiacente stazione elettrica di proprietà Enel, situata nel Comune di Forenza provincia di Potenza.

L'ipotesi di progetto prevede il collegamento alla linea AT nel punto dell'attuale SSE, che sarà oggetto di opportuni interventi di ampliamento.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	15 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

3 CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Data la vastità del sito, per esigenze tecniche relative alla costruzione del modello fluidodinamico il sito è stato diviso in tre parti: Maschito settentrionale, Forenza-Maschito centrale e Forenza meridionale come mostrato in Fig1a.

3.1 Strumenti utilizzati

La campagna anemometrica è stata condotta in sito con 3 torri anemometriche. Ogni sotto-area è stata costruita in modo tale che ogni cluster abbia una torre di misura

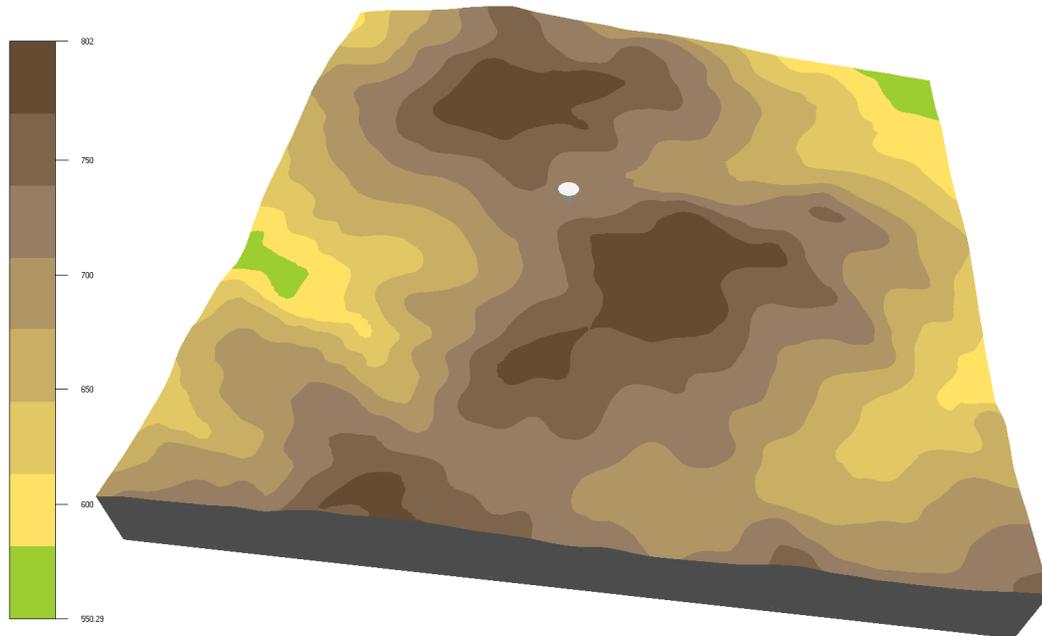


Figura 6: Stazioni di misura in sito: MS05 (Maschito settentrionale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	16 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

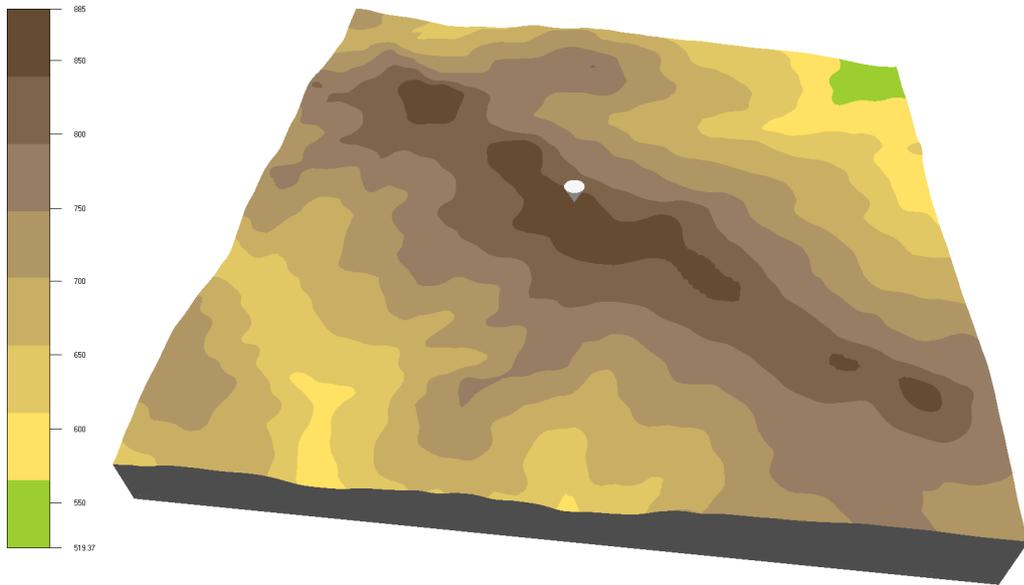


Figura 7: Stazioni di misura in sito: FZ04(Forenza Maschito centrale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	17 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

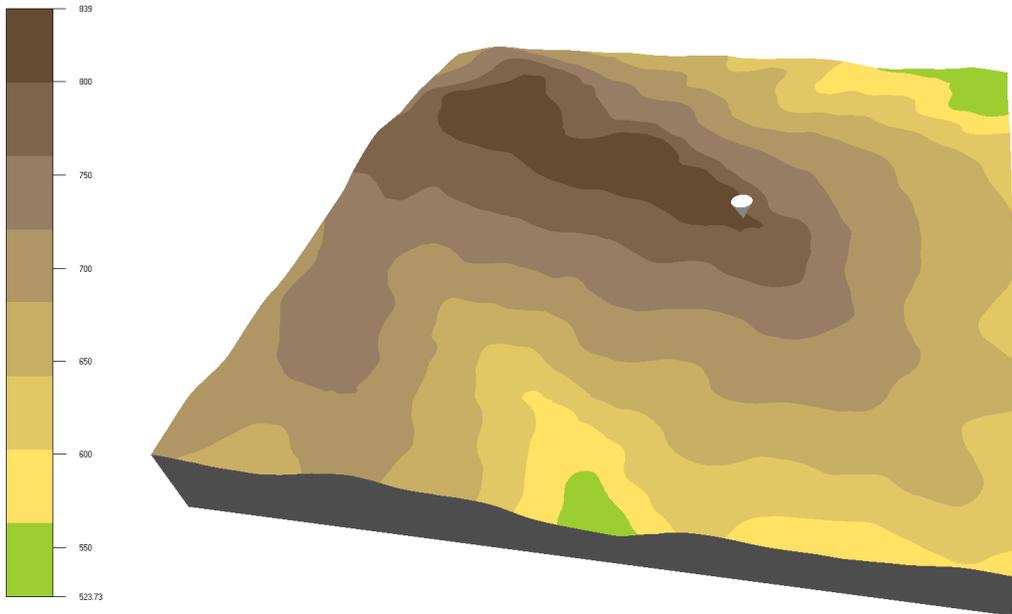


Figura 8: Stazioni di misura in sito: FZ01(Forenza meridionale)

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Quota (m)	Altezza (m)	dal	al
MS05	566322	4529419	730	30	03/01/2008	28/08/2015
FZ04	569052	4525813	877	10	03/01/2008	28/08/2015
FZ01	574801	4522182	798	10	03/01/2008	28/08/2015

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	18 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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 una torre.

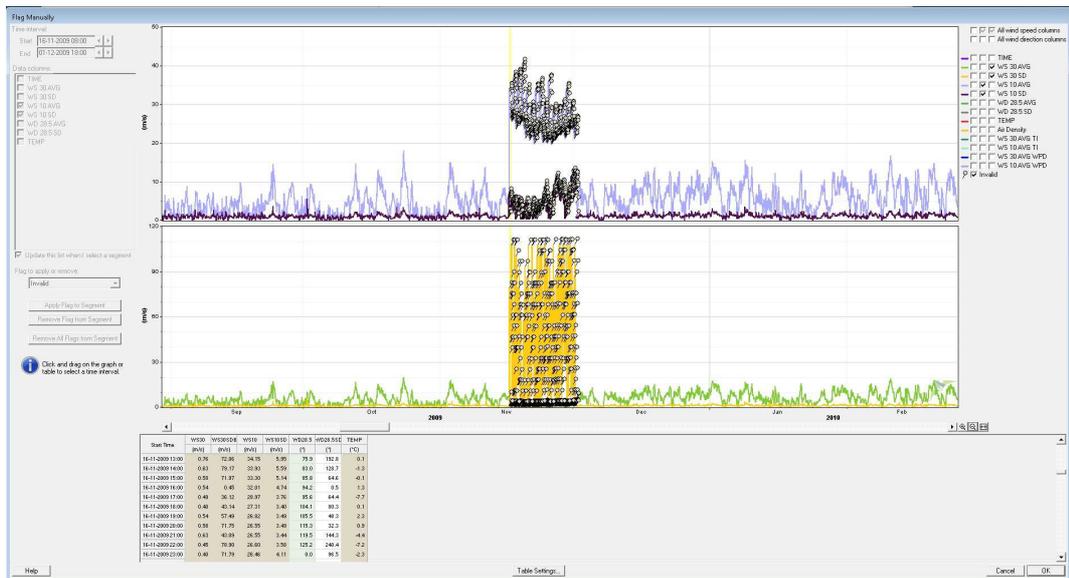


Figura 9: Validazione misura

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.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	19 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

3.3 Analisi anemologica e statistica dei dati

A seguito della validazione dei dati si possono stilare le statistiche sulle velocità medie di sito. Di seguito si riportano a titolo d'esempio i profili statistici relativi ad una delle tre torri di misura (FZ04)

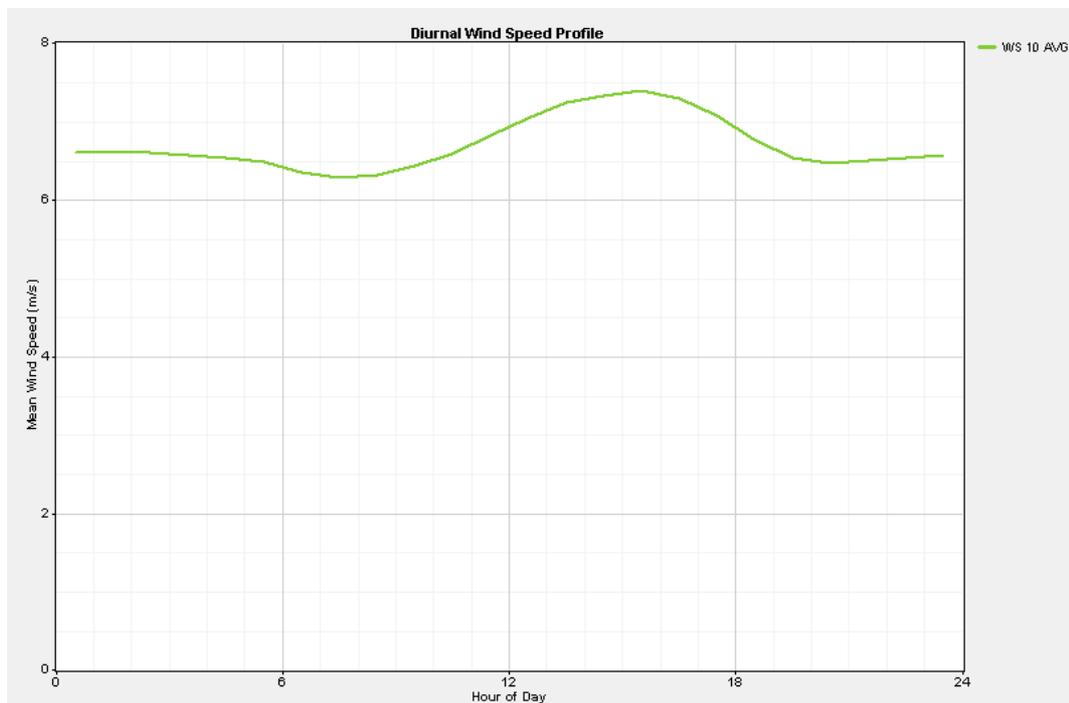


Figura 10: Profilo giornaliero di velocità - FZ04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	20 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

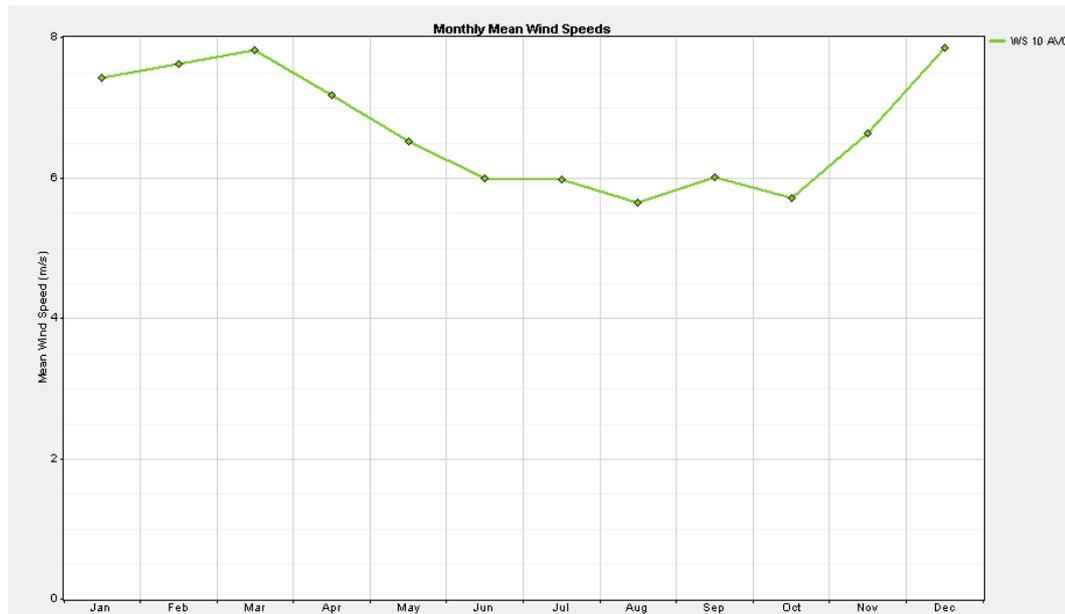


Figura 11: Profilo mensile di velocità - FZ04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	21 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Inoltre, partendo dalle velocità misurate, si procede all'estrapolazione del profilo verticale di velocità.

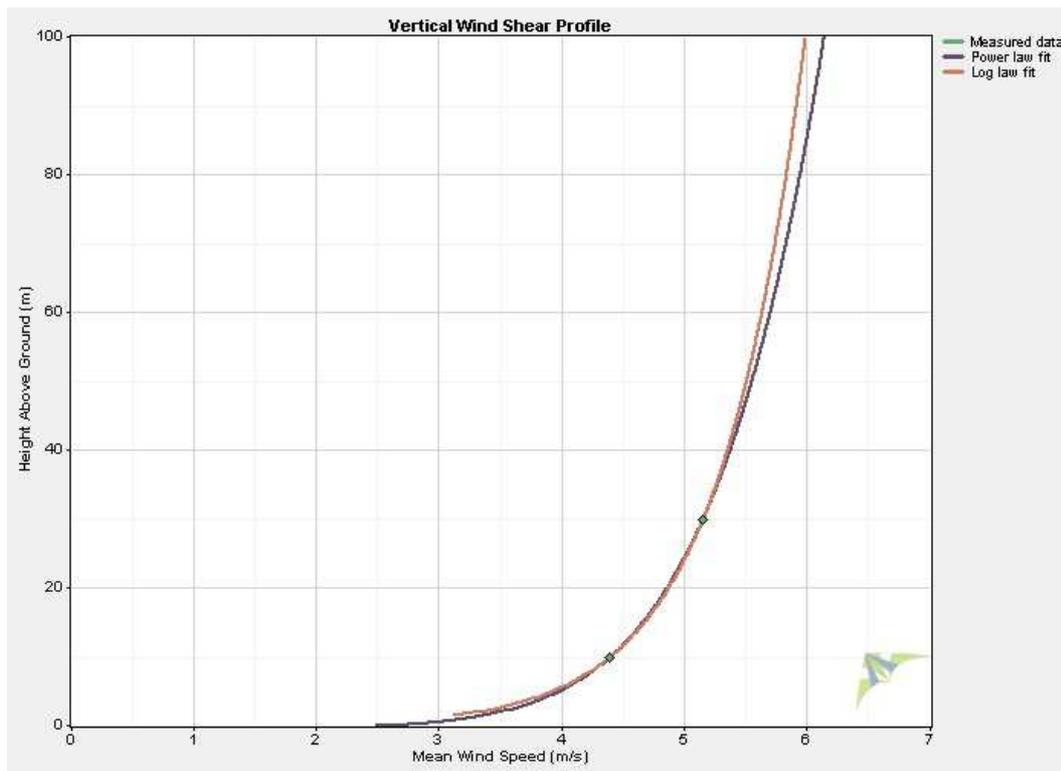


Figura 12: Profilo verticale di velocità (wind shear)

da cui si può agevolmente ottenere 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 in corrispondenza dell'altezza mozzo degli aerogeneratori esistenti (HH50):

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	22 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Le formule sono indicate a titolo esemplificativo e devono essere adattate alle specificità della misura disponibile.

Nel caso specifico di Forenza Maschito, solo per il caso di MS05 è stato possibile applicare le formule citate.

Per gli anemometri FZ01 e FZ04, non essendo disponibili sensori di velocità a 30m (doppia misura sulla verticale della torre anemometrica), la prima ipotesi di velocità a 50m è stata ottenuta stimando il valore del parametro α (coefficiente di wind shear) in base all'orografia del sito in corrispondenza del punto di installazione della torre di misura.

Al fine di ridurre le incertezze di calcolo legate al processo di estrapolazione verticale della misura da quota anemometro ad altezza hub, è stato preso in considerazione anche il dato di energia da SCADA di impianto esistente.

A partire dal dato SCADA di energia estrapolato ai morsetti del generatore di turbina ad un'altezza di riferimento pari all'altezza mozzo delle V47, ovvero a 50m s.l.s., si è proceduto a determinare, sulla base dei dati storici di operation e quindi di tutti i tipi di downtime occorsi nel periodo oggetto di misura, la producibilità storica d'impianto, su base annuale.

In particolare, la serie storica di dati SCADA su base energia è stata rielaborata con la serie di dati di downtime (periodo: 2002-2016) per calcolare anno per anno la producibilità mensile e quindi definire il dato di producibilità annua storica.

Ci si è avvalsi di tale input in ambiente di modellazione CFD, approcciando in modo critico la precedente estrapolazione verticale della velocità, da quota misura fino all'altezza mozzo desiderata, disponendo questa volta di un riferimento noto in corrispondenza dell'altezza mozzo degli aerogeneratori esistenti (HH50).

A valle dell'applicazione di tale procedura di calcolo, è possibile determinare le tabelle di frequenza per bin di direzione e di velocità in corrispondenza dell'altezza mozzo degli aerogeneratori esistenti (50m) e del punto di installazione di ogni torre anemometrica.

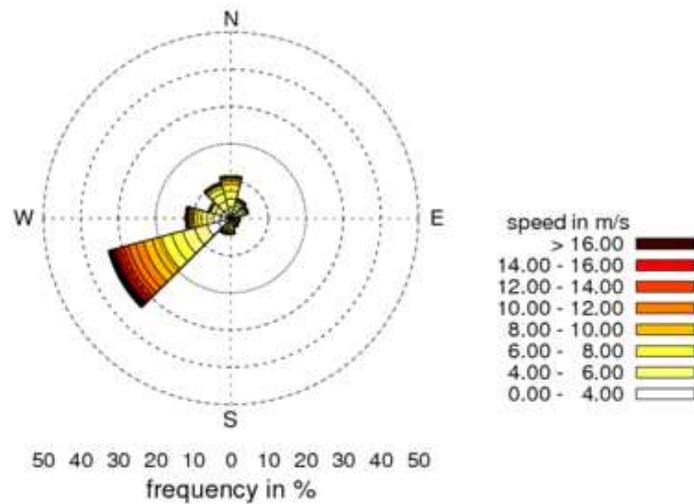
Si ottengono le seguenti statistiche di ventosità (climatologie):

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	23 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

site name	MS05_50		
filename	TabfreqMS05_50		
measurement period	03.01.08 - 28.08.15	# records = 65984	
position	x = 566322.0	y = 4529419.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.46	A = 5.82	average = 5.35

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.52	2.01	1.71	1.82	1.96	2.17	2.68	2.01	1.62	1.43	2.35	2.26
A	6.02	5.13	3.89	3.83	4.89	5.45	6.49	6.76	7.81	4.91	3.81	4.78
freq	11.4	5.5	4.8	2.4	2.4	2.7	4.3	4.5	33.7	12.1	6.2	9.9
mean	5.33	4.49	3.38	3.29	4.28	4.75	5.65	5.83	6.94	4.51	3.31	4.26

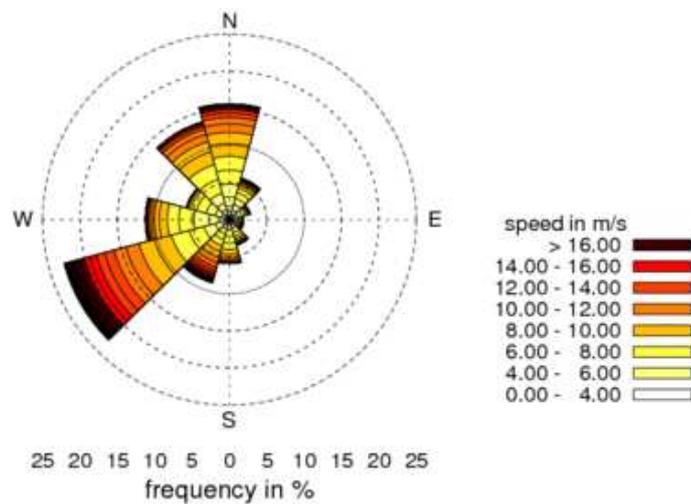
Figura 13: Tabella di frequenze MS05-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	24 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

site name	FZ04_50		
filename	TabfreqFZ04_50		
measurement period	03.01.08 - 28.08.15	# records = 64436	
position	x = 569052.0	y = 4525813.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.65	A = 7.62	average = 6.94

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.09	1.69	1.60	1.90	1.76	1.87	2.25	1.88	1.76	2.11	2.87	2.53
A	7.84	6.00	4.25	4.91	5.56	5.95	6.76	9.53	10.20	6.36	5.45	7.60
freq	15.6	5.8	2.9	1.9	2.0	3.5	5.9	8.8	22.8	11.2	6.0	13.6
mean	6.91	5.29	3.70	4.23	4.89	5.30	5.98	8.51	9.41	5.72	4.73	6.69

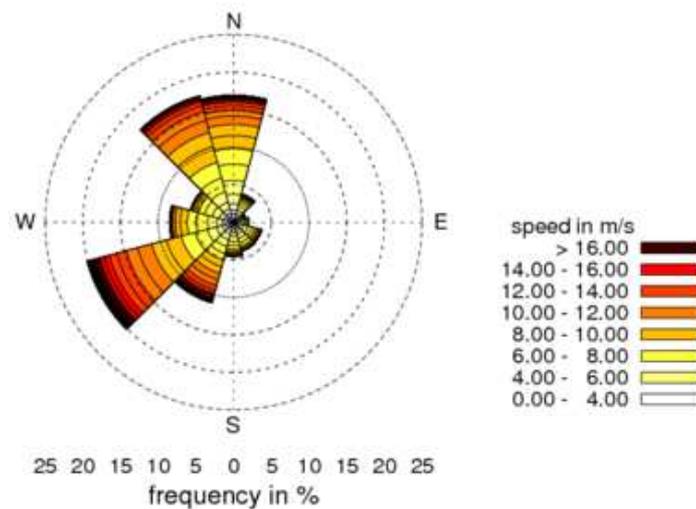
Figura 14: Tabella di frequenze FZ04 -50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	25 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

site name	FZ01_50		
filename	TabfreqFZ01_50		
measurement period	03.01.08 - 28.08.15	# records =	65455
position	x = 574802.0	y = 4522182.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.80	A = 7.67	average = 6.72

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.94	1.60	1.34	1.73	1.97	2.04	1.67	1.90	2.00	2.47	2.47	2.49
A	7.60	5.62	3.83	4.25	5.94	5.48	5.65	8.96	9.98	6.47	5.86	8.35
freq	16.9	3.9	1.7	2.1	3.9	4.0	4.6	11.1	20.1	8.5	5.9	17.4
mean	6.68	4.89	3.42	3.63	5.14	4.64	4.90	7.74	8.83	5.60	4.95	7.26

Figura 15: Tabella di frequenze FZ01-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	26 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Si procede quindi a rimodulare il calcolo del gradiente al suolo tenendo conto degli input sopra descritti, pervenendo alla stima delle climatologie in corrispondenza delle nuove altezze mozzo degli aerogeneratori oggetto di repowering (HH=107.5m, HH=110; HH=112 e HH=114m).

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	27 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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. 806 s.l.m. dell'area d'impianto di Forenza-Maschito). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media a $\rho = 1,125 \text{ kg/m}^3$

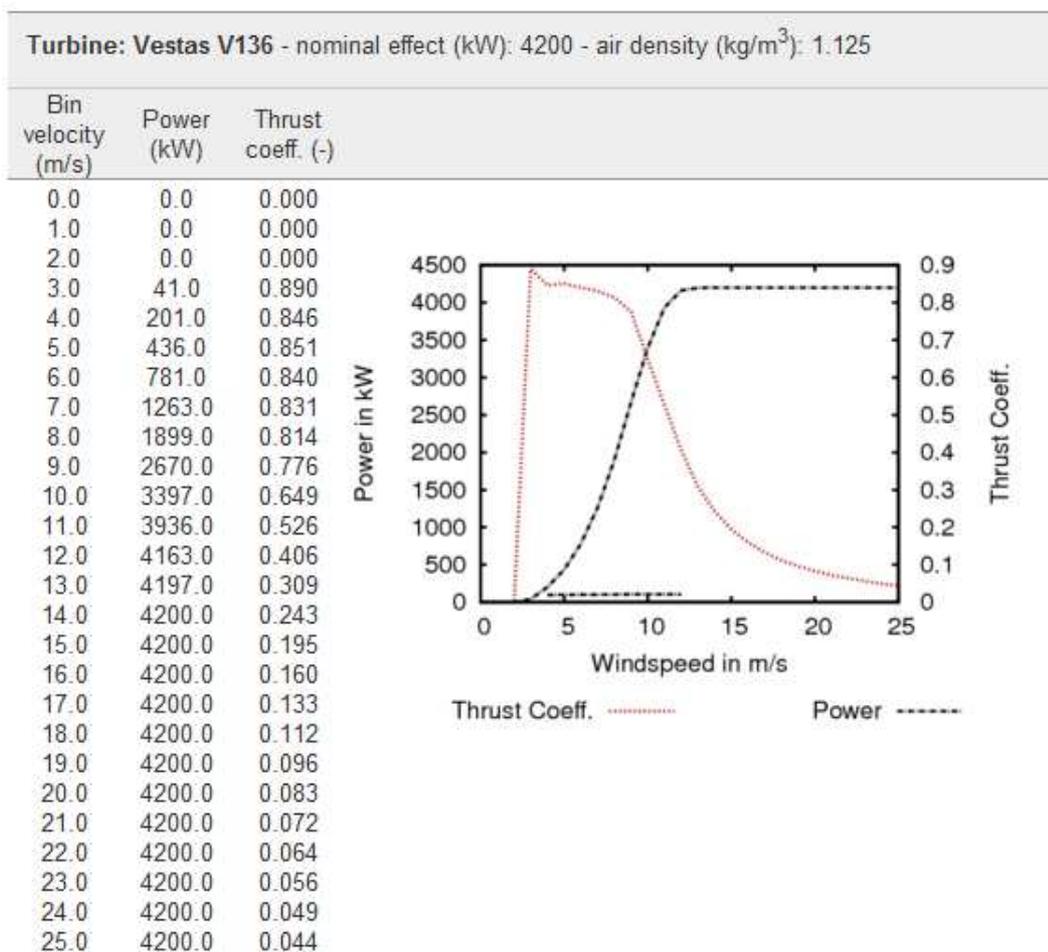


Figura 16: Aerogeneratore Vestas V136

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	28 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

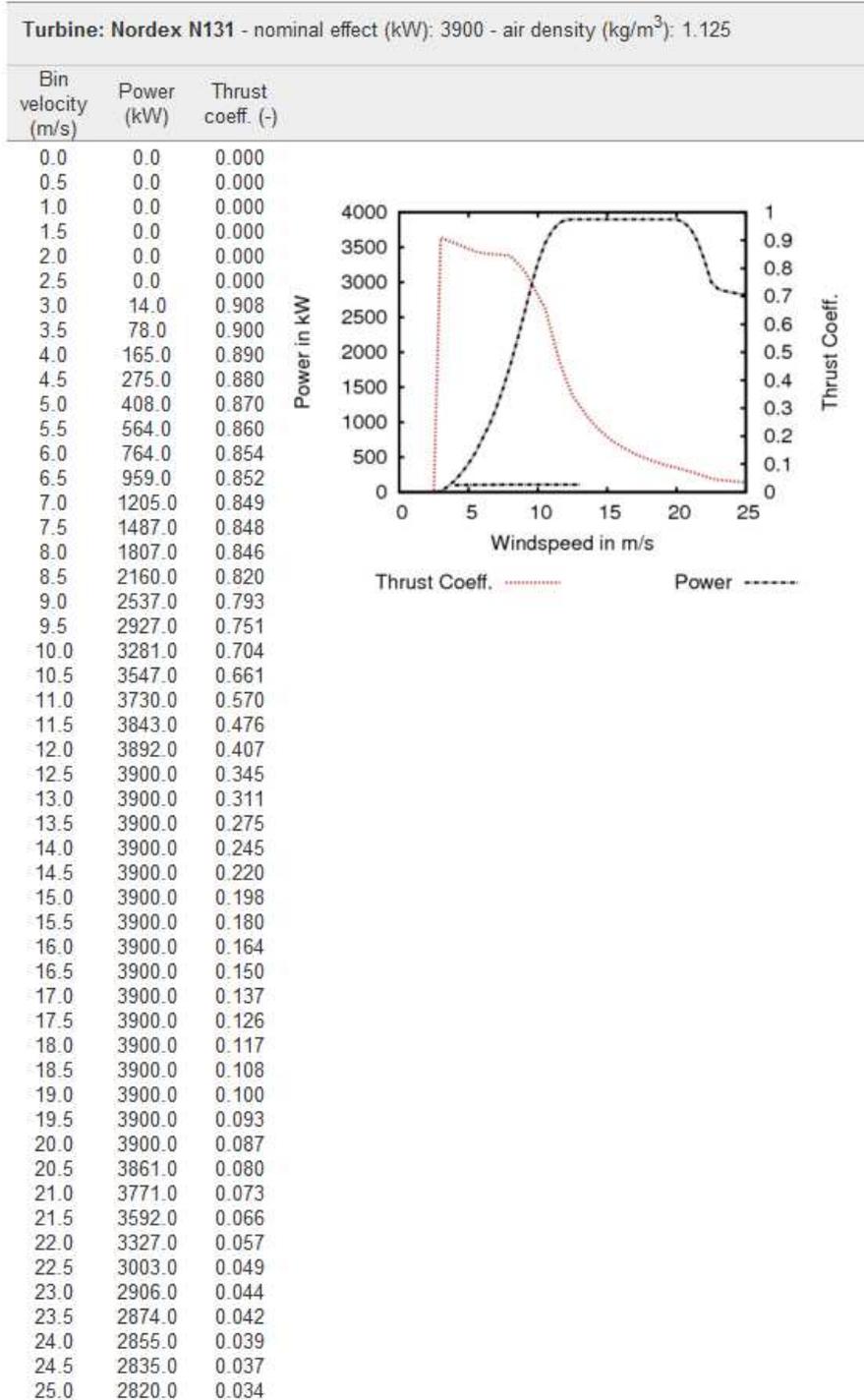


Figura 17: Aerogeneratore Nordex N131 3.9 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	29 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Turbine: Repower M140 - nominal effect (kW): 4200 - air density (kg/m³): 1.120

Bin velocity (m/s)	Power (kW)	Thrust coeff. (-)
0.0	0.0	0.000
1.0	0.0	0.000
2.0	0.0	0.000
3.0	24.0	0.870
4.0	191.0	0.820
5.0	446.0	0.790
6.0	829.0	0.800
7.0	1329.0	0.790
8.0	1975.0	0.780
9.0	2802.0	0.730
10.0	3591.0	0.630
11.0	4097.0	0.520
12.0	4200.0	0.390
13.0	4200.0	0.300
14.0	4200.0	0.230
15.0	4200.0	0.190
16.0	4200.0	0.160
17.0	4200.0	0.130
18.0	4200.0	0.110
19.0	4200.0	0.090
20.0	4200.0	0.080
21.0	4200.0	0.070
22.0	3948.0	0.060
23.0	3360.0	0.040
24.0	2520.0	0.030
25.0	1680.0	0.020
26.0	840.0	0.010

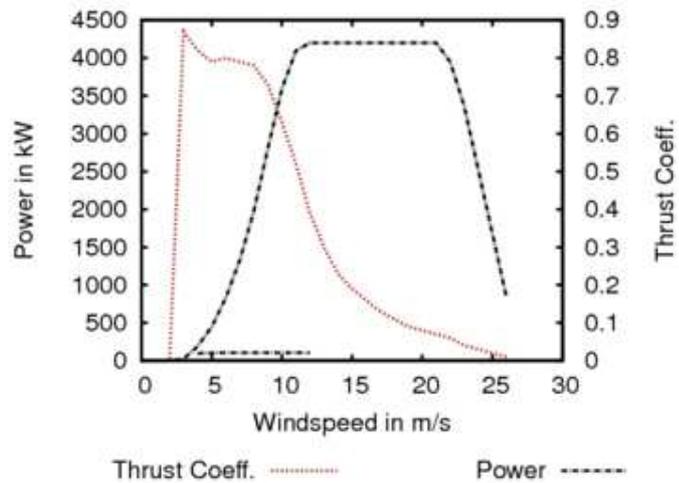


Figura 18: Aerogeneratore Senvion M140 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	30 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Turbine: Siemens_Gamesa SG145 - nominal effect (kW): 4500 - air density (kg/m³): 1.120

Bin velocity (m/s)	Power (kW)	Thrust coeff. (-)
0.0	0.0	0.000
1.0	0.0	0.000
2.0	0.0	0.000
3.0	48.0	0.891
4.0	217.0	0.842
5.0	503.0	0.821
6.0	918.0	0.819
7.0	1494.0	0.818
8.0	2244.0	0.803
9.0	3103.0	0.737
10.0	3877.0	0.623
11.0	4348.0	0.489
12.0	4480.0	0.372
13.0	4495.0	0.285
14.0	4499.0	0.224
15.0	4500.0	0.180
16.0	4500.0	0.148
17.0	4500.0	0.123
18.0	4499.0	0.104
19.0	4495.0	0.088
20.0	4475.0	0.076
21.0	4423.0	0.065
22.0	4326.0	0.056
23.0	4185.0	0.048
24.0	4020.0	0.041
25.0	3856.0	0.036
26.0	3709.0	0.031
27.0	3593.0	0.027

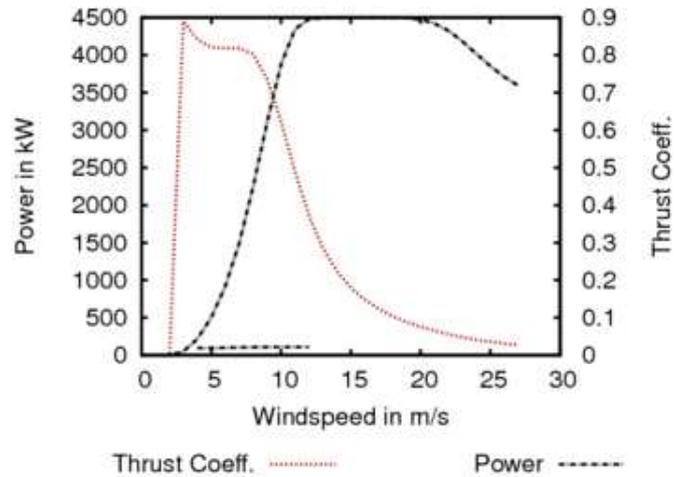
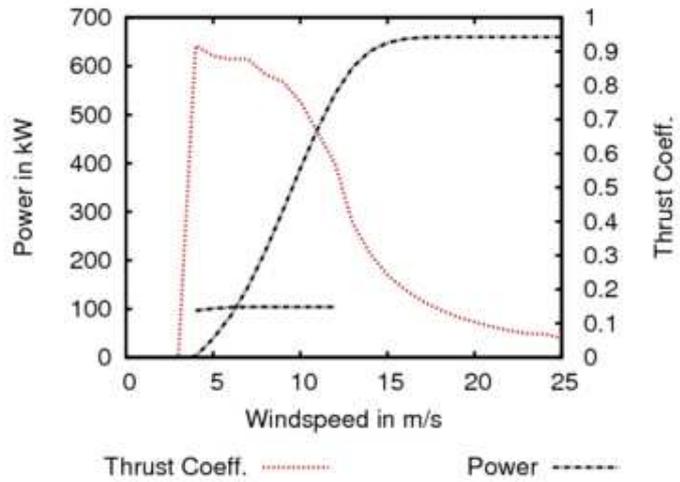


Figura 19: Aerogeneratore Siemens-Gamesa SG145 4.5 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	31 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Turbine: Vestas V47 - nominal effect (kW): 660 - air density (kg/m³): 1.120

Bin velocity (m/s)	Power (kW)	Thrust coeff. (-)
0.0	0.0	0.000
1.0	0.0	0.000
2.0	0.0	0.000
3.0	0.0	0.000
4.0	2.4	0.917
5.0	38.8	0.887
6.0	85.0	0.878
7.0	145.0	0.878
8.0	219.0	0.833
9.0	302.0	0.811
10.0	389.0	0.753
11.0	471.0	0.662
12.0	543.0	0.570
13.0	597.0	0.396
14.0	631.0	0.306
15.0	648.0	0.243
16.0	656.0	0.200
17.0	659.0	0.166
18.0	660.0	0.141
19.0	660.0	0.120
20.0	660.0	0.104
21.0	660.0	0.090
22.0	660.0	0.079
23.0	660.0	0.070
24.0	660.0	0.069
25.0	660.0	0.056



CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	32 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

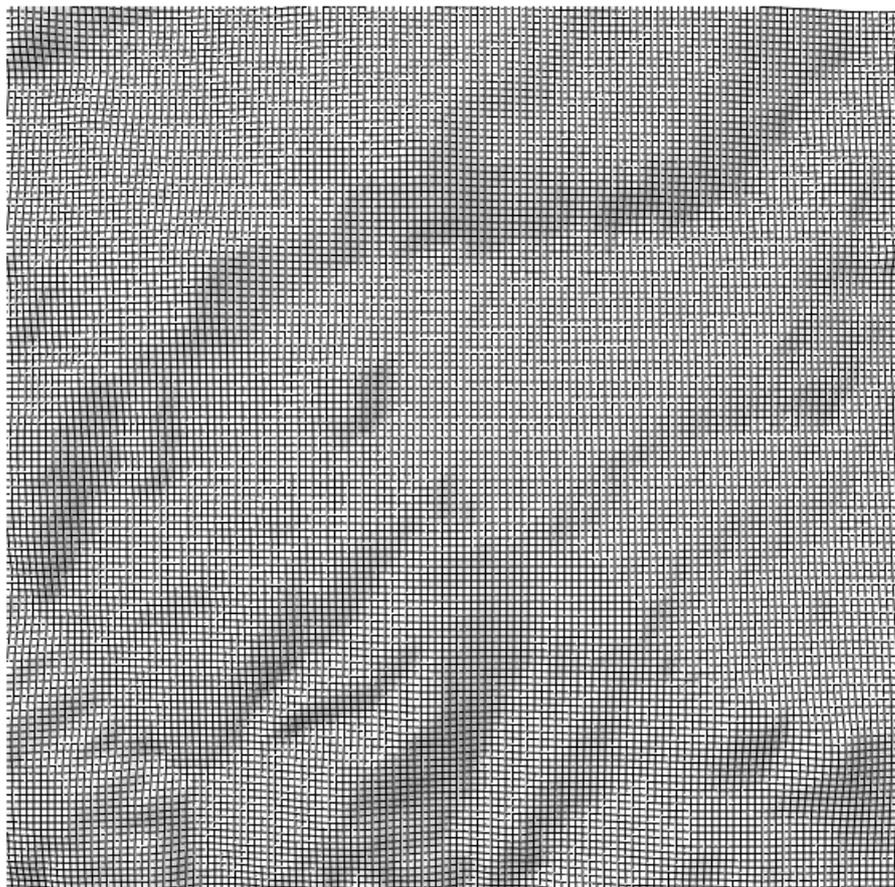
5 APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD

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.

Il DTM riportato di seguito è riferito al sito di Forenza Maschito centrale:

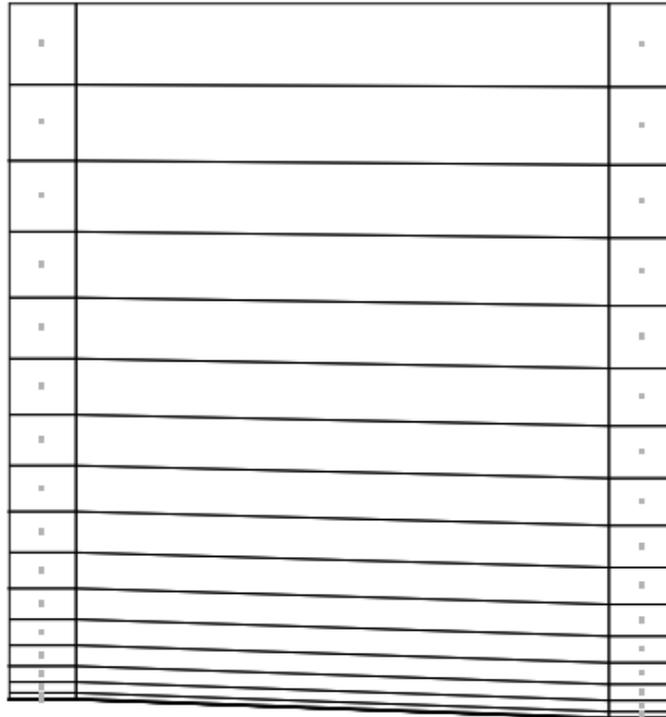


	x	y	z	total
Grid spacing (m)	35.0	35.0	Variable	-
Number of cells	130	129	20	335400

Figura 20: Mesh orizzontale del dominio di calcolo (area Centrale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	33 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Di seguito invece la discretizzazione verticale del dominio di calcolo e relativa distanza dal terreno dei primi dieci nodi (a titolo di esempio di inserisce il modello di Forenza Maschito centrale):



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-dist. max (m)	1.2	3.5	5.8	14.9	79.2	240.8	499.6	855.7	1309.1	1859.6
z-dist. min (m)	1.2	3.5	5.8	15.1	81.2	247.2	513.1	879.0	1344.7	1910.4

Figura 21: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	34 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

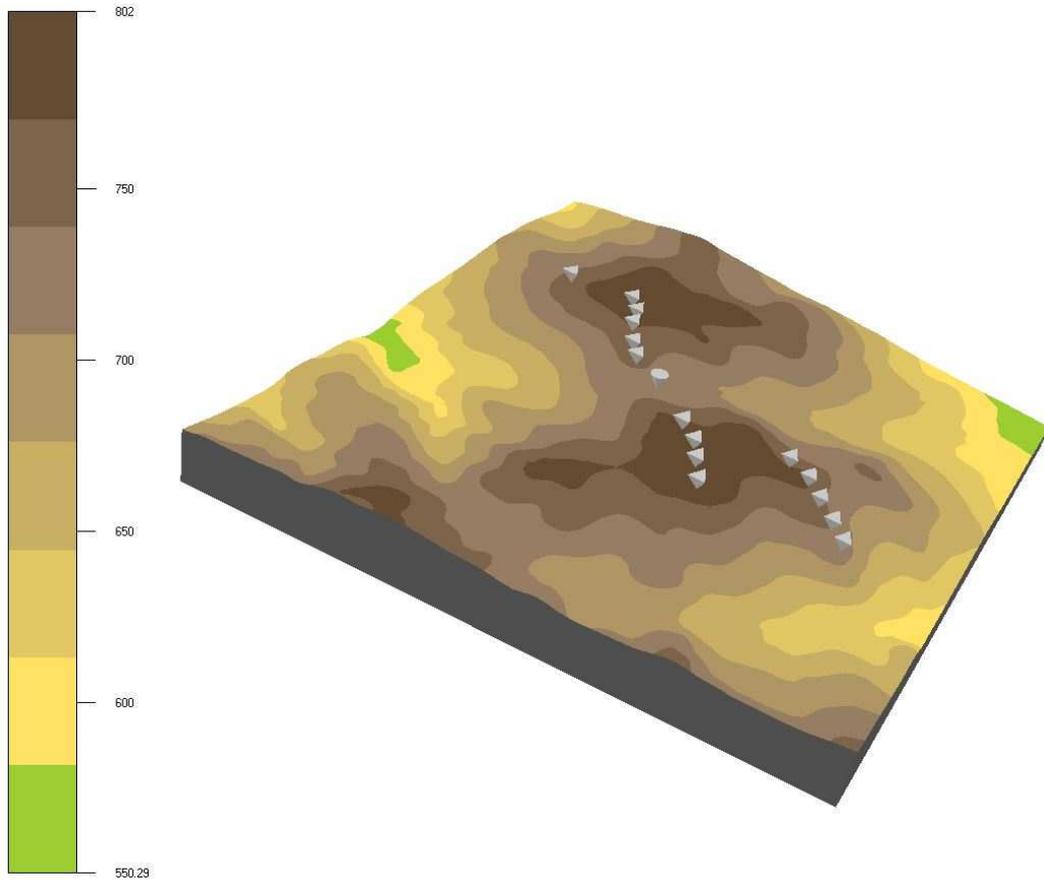


Figura 22: Mappa 3D area di sito Maschito settentrionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	35 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

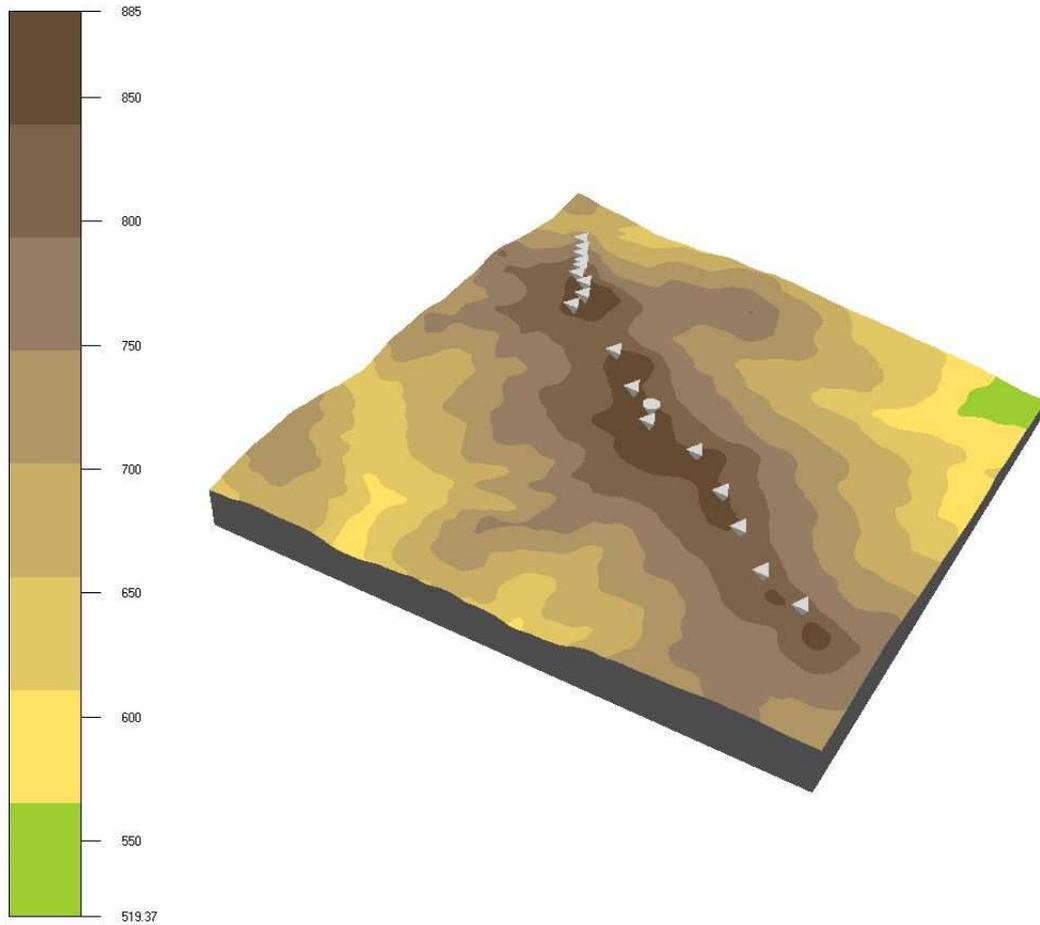


Figura 23: Mappa 3D area di sito Forenza Maschito centrale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	36 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

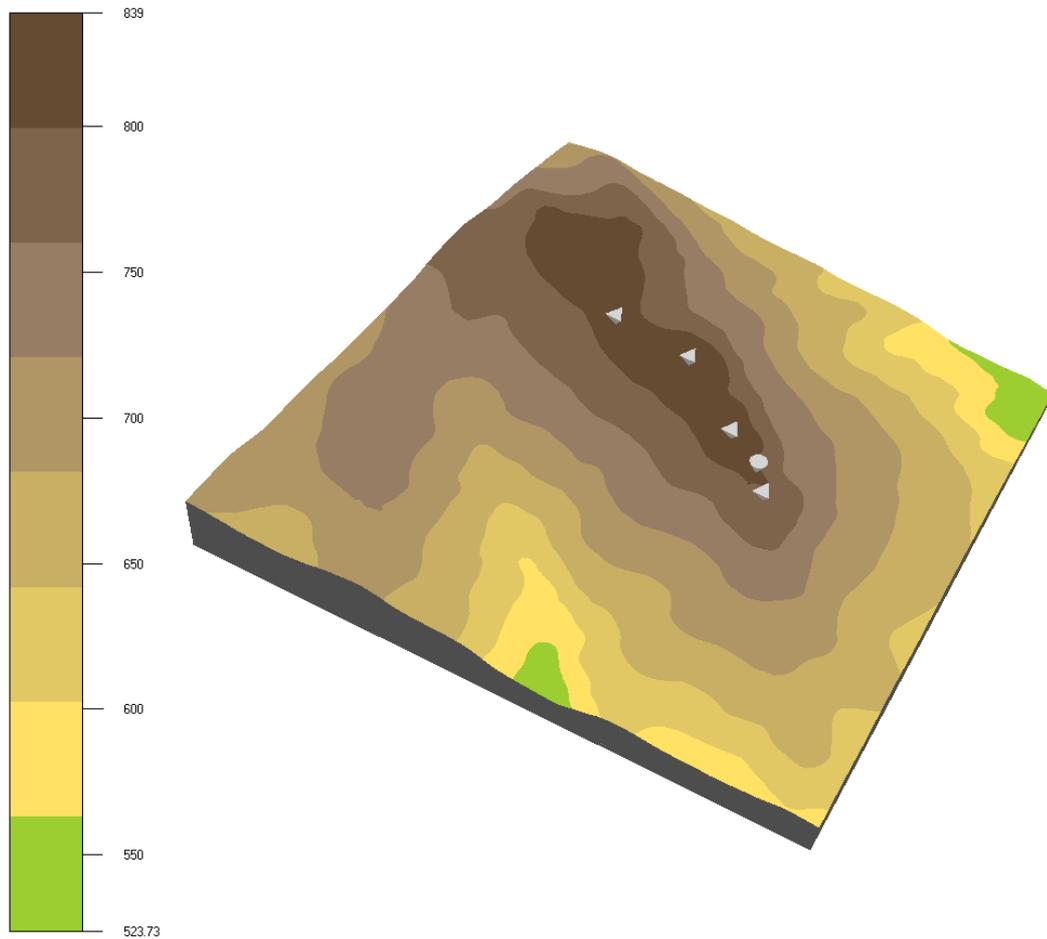


Figura 24: Mappa 3D area di sito Forenza meridionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	37 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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.

A titolo di esempio è rappresentata la mappa di rugosità del sito di Forenza meridionale

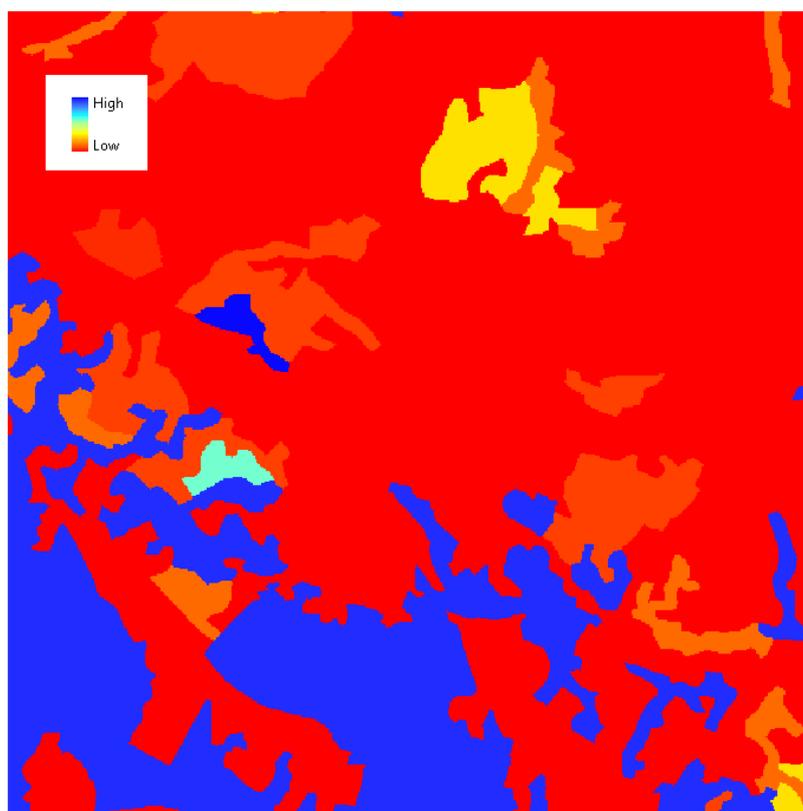


Figura 25: Mappa di rugosità di Forenza meridionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	38 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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 riportano le mappe di ventosità relative alle tre aree d'impianto, estrapolate in corrispondenza dell'altezza mozzo di 112 m s.l.s. relativo alla turbina V136 (a titolo di esempio).

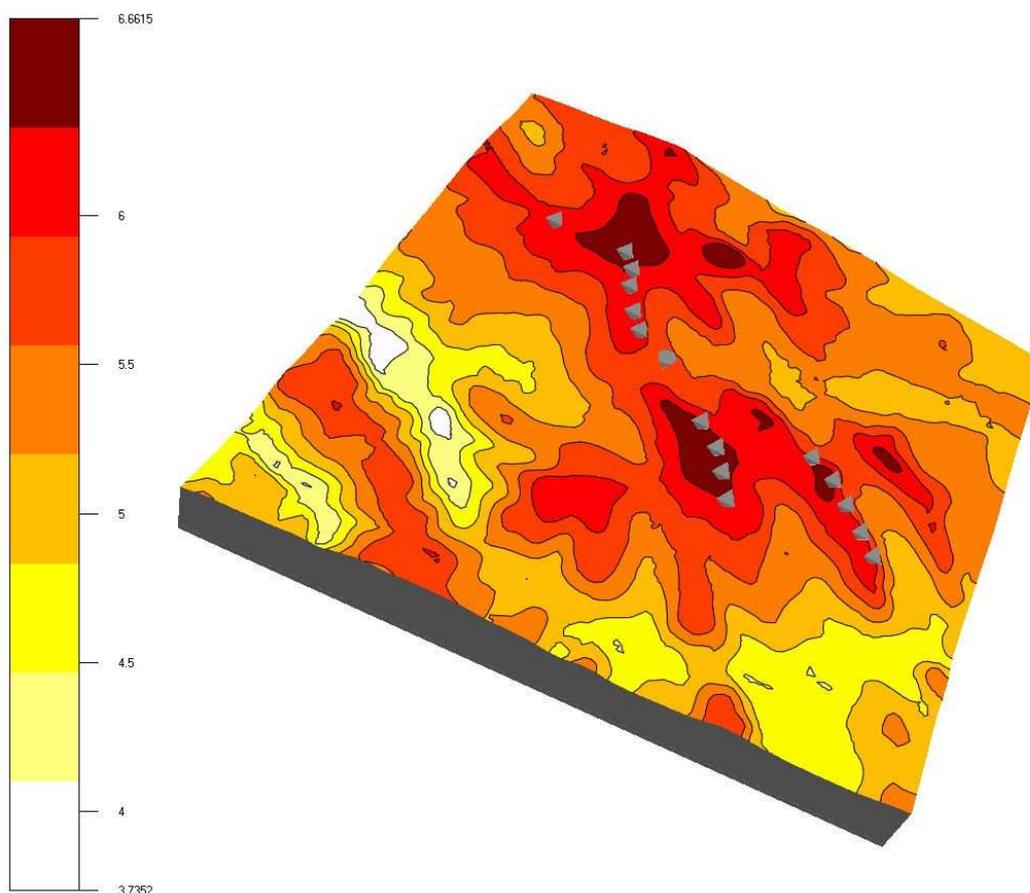


Figura 26: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s. (Maschito settentrionale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	39 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

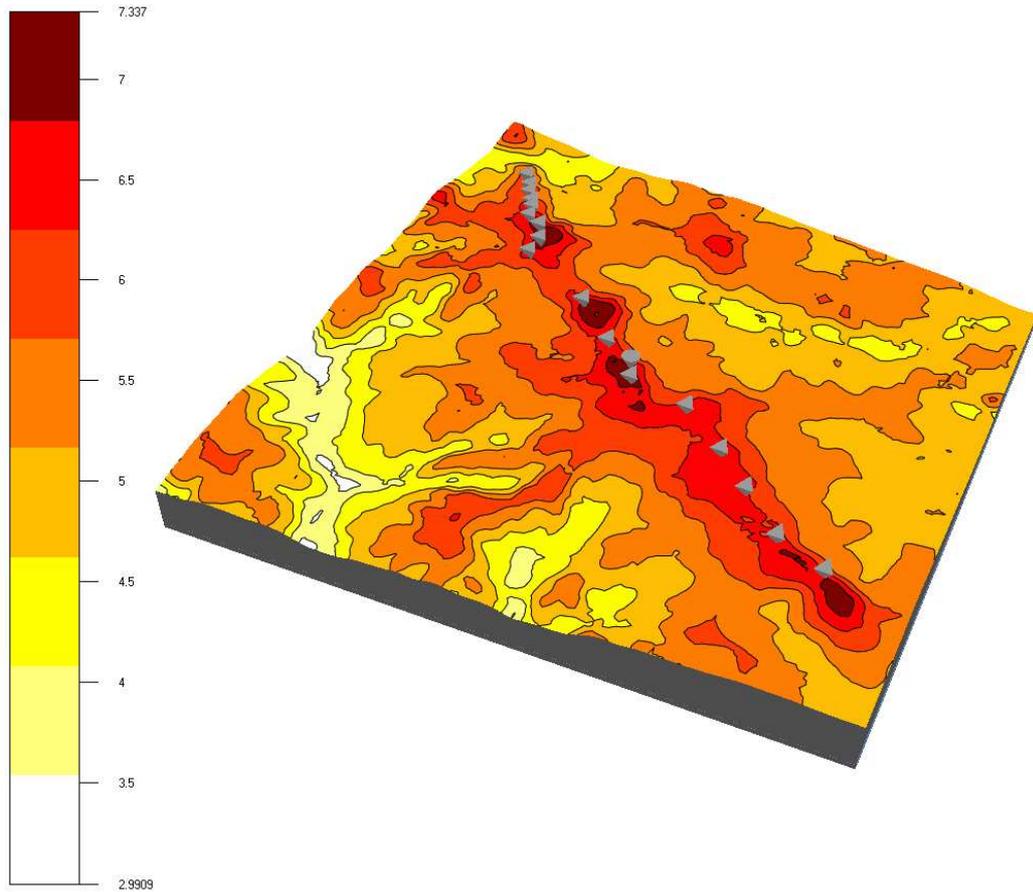


Figura 27: Mappa di ventosità a 112m s.l.s. (Forenza-Maschito centrale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	40 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

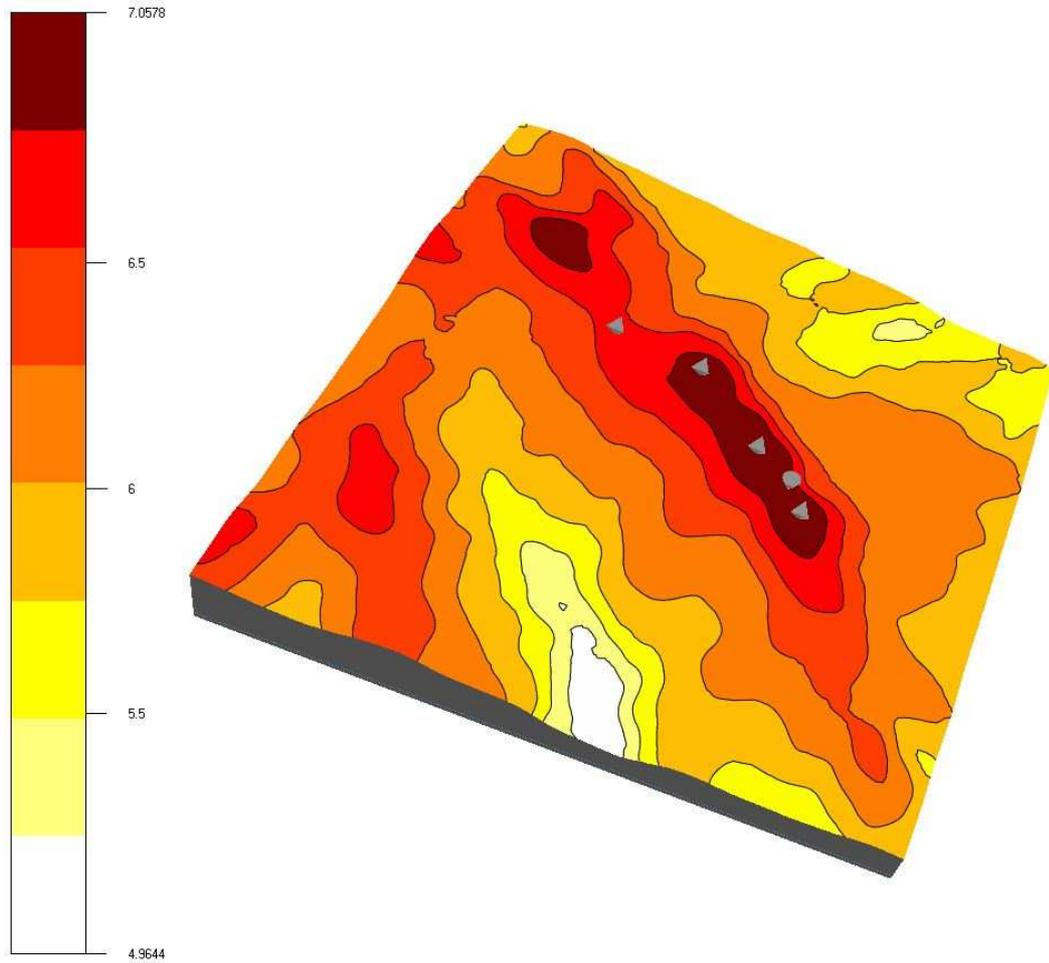


Figura 28: Mappa di ventosità a 112m s.l.s. (Forenza meridionale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	41 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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 e quindi dell'intero parco risultante dalla somma dei prodotti tra il numero di ore/anno e la potenza certificata per ogni bin di velocità del vento:

	N131 - V47	M140 - V47	V136 - V47	SG145 - V47
Numero WTG	12 24	12 24	12 24	12 24
Potenza Unitaria (MW)	3.9 - 0.66	4.2 - 0.66	4.2 - 0.66	4.5 - 0.66
Produzione media lorda attesa aerogenerataori V47 (MWh/anno)	29657	29657	29657	29657
Produzione media lorda attesa aerogenerataori Multi-Megawatt (MWh/anno)	146798	161035	156188	174847
Produzione media lorda attesa Totale (MWh/anno)	176455	190692	185845	204504

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.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità		42 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0			

N131					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
MH_01	5.78	1167	5.78	1165	0.1%
MH_02	5.82	1159	5.69	1110	4.2%
MH_03	6	1249	5.94	1216	2.6%
MH_04	5.88	1188	5.71	1117	5.9%
MH_05	5.81	1151	5.55	1049	8.9%
MH_06	5.62	1073	5.48	1029	4.1%
MH_07	5.64	1081	5.5	1041	3.7%
MH_08	6.18	1309	6.15	1294	1.2%
MH_09	6.08	1275	5.98	1225	3.9%
MH_10	6.07	1270	5.91	1197	5.7%
MH_11	5.91	1224	5.88	1212	1.0%
MH_12	6.06	1282	5.98	1252	2.4%
MH_13	5.77	1157	5.7	1132	2.2%
MH_14	5.82	1178	5.76	1152	2.2%
MH_15	5.75	1140	5.7	1123	1.5%
MH_16	5.65	1038	5.61	1028	1.0%
MH_17	5.76	1088	5.58	1012	7.0%
MH_18	6.14	1246	5.85	1131	9.2%
MH_19	6.09	1223	5.79	1113	9.0%
MH_20	6.47	1397	6.08	1244	10.9%
MH_21	6.65	1483	6.36	1341	9.6%
MH_22	6.97	1619	6.77	1519	6.1%
MH_23	6.65	1469	6.35	1328	9.6%
MH_24	6.01	1193	5.74	1075	9.9%
R-FZ01	6.94	12204	6.92	12133	0.6%
R-FZ02	6.77	11621	6.69	11347	2.4%
R-FZ03	7.02	12436	6.95	12164	2.2%
R-FZ04	6.85	12108	6.72	11701	3.4%
R-FZ05	6.81	11878	6.72	11657	1.9%
R-FZ06	6.75	11708	6.66	11400	2.6%
R-FZ07	6.8	11849	6.71	11581	2.3%
R-FZ08	6.88	12186	6.80	12020	1.4%
R-FZ09	6.62	11930	6.58	11831	0.8%
R-FZ10	6.93	12878	6.78	12363	4.0%
R-FZ11	7	13034	6.89	12669	2.8%
R-FZ12	6.97	12966	6.86	12549	3.2%
Media	6.30	4902	6.17	4764	4.2%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità		43 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0			

M140					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
MH_01	5.78	1167	5.78	1165	0.1%
MH_02	5.82	1159	5.69	1110	4.2%
MH_03	6	1249	5.94	1216	2.6%
MH_04	5.88	1188	5.71	1117	5.9%
MH_05	5.81	1151	5.55	1049	8.9%
MH_06	5.62	1073	5.48	1029	4.1%
MH_07	5.64	1081	5.5	1041	3.7%
MH_08	6.18	1309	6.15	1294	1.2%
MH_09	6.08	1275	5.98	1225	3.9%
MH_10	6.07	1270	5.91	1197	5.7%
MH_11	5.91	1224	5.88	1212	1.0%
MH_12	6.06	1282	5.98	1252	2.4%
MH_13	5.77	1157	5.7	1132	2.2%
MH_14	5.82	1178	5.76	1152	2.2%
MH_15	5.75	1140	5.7	1123	1.5%
MH_16	5.65	1038	5.61	1028	1.0%
MH_17	5.76	1088	5.58	1012	7.0%
MH_18	6.14	1246	5.85	1131	9.2%
MH_19	6.09	1223	5.79	1113	9.0%
MH_20	6.47	1397	6.08	1244	10.9%
MH_21	6.65	1483	6.36	1341	9.6%
MH_22	6.97	1619	6.77	1519	6.1%
MH_23	6.65	1469	6.35	1328	9.6%
MH_24	6.01	1193	5.74	1075	9.9%
R-FZ01	6.94	13419	6.92	13346	0.6%
R-FZ02	6.77	12745	6.69	12479	2.1%
R-FZ03	7.02	13670	6.95	13377	2.1%
R-FZ04	6.85	13294	6.72	12878	3.1%
R-FZ05	6.8	13022	6.72	12797	1.7%
R-FZ06	6.74	12831	6.66	12532	2.3%
R-FZ07	6.79	12986	6.71	12721	2.0%
R-FZ08	6.88	13361	6.80	13194	1.3%
R-FZ09	6.6	13056	6.57	12959	0.7%
R-FZ10	6.92	14125	6.78	13579	3.9%
R-FZ11	6.99	14297	6.89	13932	2.6%
R-FZ12	6.97	14229	6.86	13822	2.9%
Media	6.30	5297	6.17	5159	4.1%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità		44 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0			

V136					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
MH_01	5.78	1167	5.78	1165	0.1%
MH_02	5.82	1159	5.69	1110	4.2%
MH_03	6	1249	5.94	1216	2.6%
MH_04	5.88	1188	5.71	1117	5.9%
MH_05	5.81	1151	5.55	1049	8.9%
MH_06	5.62	1073	5.48	1029	4.1%
MH_07	5.64	1081	5.5	1041	3.7%
MH_08	6.18	1309	6.15	1294	1.2%
MH_09	6.08	1275	5.98	1225	3.9%
MH_10	6.07	1270	5.91	1197	5.7%
MH_11	5.91	1224	5.88	1212	1.0%
MH_12	6.06	1282	5.98	1252	2.4%
MH_13	5.77	1157	5.7	1132	2.2%
MH_14	5.82	1178	5.76	1152	2.2%
MH_15	5.75	1140	5.7	1123	1.5%
MH_16	5.65	1038	5.61	1028	1.0%
MH_17	5.76	1088	5.58	1012	7.0%
MH_18	6.14	1246	5.85	1131	9.2%
MH_19	6.09	1223	5.79	1113	9.0%
MH_20	6.47	1397	6.08	1244	10.9%
MH_21	6.65	1483	6.36	1341	9.6%
MH_22	6.97	1619	6.77	1519	6.1%
MH_23	6.65	1469	6.35	1328	9.6%
MH_24	6.01	1193	5.74	1075	9.9%
R-FZ01	6.94	13020	6.92	12945	0.6%
R-FZ02	6.77	12373	6.69	12106	2.2%
R-FZ03	7.02	13272	6.95	12983	2.2%
R-FZ04	6.85	12884	6.72	12467	3.2%
R-FZ05	6.8	12644	6.72	12420	1.8%
R-FZ06	6.75	12456	6.65	12156	2.4%
R-FZ07	6.79	12610	6.71	12352	2.1%
R-FZ08	6.88	12960	6.80	12794	1.3%
R-FZ09	6.61	12642	6.58	12545	0.8%
R-FZ10	6.92	13684	6.77	13135	4.0%
R-FZ11	7	13860	6.89	13495	2.6%
R-FZ12	6.97	13784	6.86	13374	3.0%
Media	6.30	5162	6.17	5024	4.1%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità		45 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0			

SG145					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
MH_01	5.78	1167	5.78	1165	0.1%
MH_02	5.82	1159	5.69	1110	4.2%
MH_03	6	1249	5.94	1216	2.6%
MH_04	5.88	1188	5.71	1117	5.9%
MH_05	5.81	1151	5.55	1049	8.9%
MH_06	5.62	1073	5.48	1029	4.1%
MH_07	5.64	1081	5.5	1041	3.7%
MH_08	6.18	1309	6.15	1294	1.2%
MH_09	6.08	1275	5.98	1225	3.9%
MH_10	6.07	1270	5.91	1197	5.7%
MH_11	5.91	1224	5.88	1212	1.0%
MH_12	6.06	1282	5.98	1252	2.4%
MH_13	5.77	1157	5.7	1132	2.2%
MH_14	5.82	1178	5.76	1152	2.2%
MH_15	5.75	1140	5.7	1123	1.5%
MH_16	5.65	1038	5.61	1028	1.0%
MH_17	5.76	1088	5.58	1012	7.0%
MH_18	6.14	1246	5.85	1131	9.2%
MH_19	6.09	1223	5.79	1113	9.0%
MH_20	6.47	1397	6.08	1244	10.9%
MH_21	6.65	1483	6.36	1341	9.6%
MH_22	6.97	1619	6.77	1519	6.1%
MH_23	6.65	1469	6.35	1328	9.6%
MH_24	6.01	1193	5.74	1075	9.9%
R-FZ01	6.88	14536	6.86	14447	0.6%
R-FZ02	6.71	13800	6.63	13499	2.2%
R-FZ03	6.96	14805	6.82	14182	4.2%
R-FZ04	6.79	14383	6.66	13910	3.3%
R-FZ05	6.74	14083	6.62	13670	2.9%
R-FZ06	6.68	13877	6.59	13538	2.4%
R-FZ07	6.73	14050	6.64	13720	2.3%
R-FZ08	6.82	14452	6.74	14260	1.3%
R-FZ09	6.58	14262	6.55	14151	0.8%
R-FZ10	6.9	15434	6.76	14808	4.1%
R-FZ11	6.98	15616	6.87	15199	2.7%
R-FZ12	6.95	15551	6.84	15090	3.0%
Media	6.29	5681	6.15	5516	4.2%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	46 di 54
FOM	ENG	REL	0001	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:

	Multi-Megawatt	V47
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3.00%	3.00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3.20%	3.20%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	2.00%	1.50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0.20%	0.20%
Perdite dovute al rumore	2.00%	2.00%
Totale perdite escluso scie	10.00%	9.54%

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

	N131	M140	V146	SG145	V47
Produzione netta WTG -P50 (MWh/anno)	10756	11821	11457	12785	1059

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	47 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

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

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	48 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
MH_01	5.78	1597
MH_02	5.82	1521
MH_03	6.00	1667
MH_04	5.88	1531
MH_05	5.81	1438
MH_06	5.62	1410
MH_07	5.64	1427
MH_08	6.18	1773
MH_09	6.08	1679
MH_10	6.07	1641
MH_11	5.91	1662
MH_12	6.06	1715
MH_13	5.77	1551
MH_14	5.82	1578
MH_15	5.75	1540
MH_16	5.65	1409
MH_17	5.76	1387
MH_18	6.14	1550
MH_19	6.09	1525
MH_20	6.47	1705
MH_21	6.65	1838
MH_22	6.97	2082
MH_23	6.65	1820
MH_24	6.01	1473
R-FZ01	6.94	2800
R-FZ02	6.77	2618
R-FZ03	7.02	2807
R-FZ04	6.85	2700
R-FZ05	6.81	2690
R-FZ06	6.75	2631
R-FZ07	6.80	2672
R-FZ08	6.88	2774
R-FZ09	6.62	2730
R-FZ10	6.93	2853
R-FZ11	7.00	2923
R-FZ12	6.97	2896
Media	6.30	1989
Media V47	6.02	1605
Media Multi-Megawatt	6.86	2758

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	49 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

M140	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
MH_01	5.78	1597
MH_02	5.82	1521
MH_03	6.00	1667
MH_04	5.88	1531
MH_05	5.81	1438
MH_06	5.62	1410
MH_07	5.64	1427
MH_08	6.18	1773
MH_09	6.08	1679
MH_10	6.07	1641
MH_11	5.91	1662
MH_12	6.06	1715
MH_13	5.77	1551
MH_14	5.82	1578
MH_15	5.75	1540
MH_16	5.65	1409
MH_17	5.76	1387
MH_18	6.14	1550
MH_19	6.09	1525
MH_20	6.47	1705
MH_21	6.65	1838
MH_22	6.97	2082
MH_23	6.65	1820
MH_24	6.01	1473
R-FZ01	6.94	2860
R-FZ02	6.77	2674
R-FZ03	7.02	2866
R-FZ04	6.85	2759
R-FZ05	6.80	2742
R-FZ06	6.74	2685
R-FZ07	6.79	2726
R-FZ08	6.88	2827
R-FZ09	6.60	2777
R-FZ10	6.92	2910
R-FZ11	6.99	2985
R-FZ12	6.97	2962
Media	6.30	2008
Media V47	6.02	1605
Media Multi-Megawatt	6.86	2814

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	50 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

V136	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
MH_01	5.78	1597
MH_02	5.82	1521
MH_03	6.00	1667
MH_04	5.88	1531
MH_05	5.81	1438
MH_06	5.62	1410
MH_07	5.64	1427
MH_08	6.18	1773
MH_09	6.08	1679
MH_10	6.07	1641
MH_11	5.91	1662
MH_12	6.06	1715
MH_13	5.77	1551
MH_14	5.82	1578
MH_15	5.75	1540
MH_16	5.65	1409
MH_17	5.76	1387
MH_18	6.14	1550
MH_19	6.09	1525
MH_20	6.47	1705
MH_21	6.65	1838
MH_22	6.97	2082
MH_23	6.65	1820
MH_24	6.01	1473
R-FZ01	6.94	2774
R-FZ02	6.77	2594
R-FZ03	7.02	2782
R-FZ04	6.85	2671
R-FZ05	6.80	2661
R-FZ06	6.75	2605
R-FZ07	6.79	2647
R-FZ08	6.88	2741
R-FZ09	6.61	2688
R-FZ10	6.92	2814
R-FZ11	7.00	2892
R-FZ12	6.97	2866
Media	6.30	1979
Media V47	6.02	1605
Media Multi-Megawatt	6.86	2728

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	51 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

SG145	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
MH_01	5.78	1597
MH_02	5.82	1521
MH_03	6.00	1667
MH_04	5.88	1531
MH_05	5.81	1438
MH_06	5.62	1410
MH_07	5.64	1427
MH_08	6.18	1773
MH_09	6.08	1679
MH_10	6.07	1641
MH_11	5.91	1662
MH_12	6.06	1715
MH_13	5.77	1551
MH_14	5.82	1578
MH_15	5.75	1540
MH_16	5.65	1409
MH_17	5.76	1387
MH_18	6.14	1550
MH_19	6.09	1525
MH_20	6.47	1705
MH_21	6.65	1838
MH_22	6.97	2082
MH_23	6.65	1820
MH_24	6.01	1473
R-FZ01	6.88	2889
R-FZ02	6.71	2700
R-FZ03	6.96	2836
R-FZ04	6.79	2782
R-FZ05	6.74	2734
R-FZ06	6.68	2708
R-FZ07	6.73	2744
R-FZ08	6.82	2852
R-FZ09	6.58	2830
R-FZ10	6.9	2961
R-FZ11	6.98	3040
R-FZ12	6.95	3018
Media	6.29	2017
Media V47	6.02	1605
Media Multi-Megawatt	6.81	2841

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	52 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

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

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

	N131	V47	Totale
Numero WTG	12	24	12+24
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	129067	25421	154488

	M140	V47	Totale
Numero WTG	12	24	12+24
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	141849	25421	167271

	V136	V47	Totale
Numero WTG	12	24	12+24
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	137490	25421	162911

	SG145	V47	Totale
Numero WTG	12	24	12+24
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	153420	25421	178841

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	53 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

Una volta ottenuto il valore P50, rappresentativo di tutto l'impianto, vengono individuati i relativi valori di producibilità P62.5 P75 e P90, a valle di una specifica analisi di incertezza (o analisi di confidenza).

Questo tipo di analisi determina la relativa incertezza di calcolo:

	N131	M140	V136	SG145	V47
incertezza sulla storicizzazione del sito	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
incertezza sul processo di micrositing	29.0%	28.1%	28.5%	27.5%	10.2%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
incertezza complessiva	29.9%	29.0%	29.5%	28.5%	12.6%

Considerando proprio l'incertezza complessiva ottenuta, si possono infine determinare, a partire dal P50, i percentili P62.5, P75 e P90.

N131		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	129.1	2758
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	116.8	2495
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	103.0	2201
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	79.5	1700

M140		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	141.8	2814
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	128.7	2554
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	114.1	2263
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	89.1	1767

V136		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	137.5	2728
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	124.6	2472
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	110.1	2185
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	85.5	1697

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	FORENZA-MASCHITO (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	54 di 54
FOM	ENG	REL	0001	0		

SG145		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	153.4	2841
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	139.5	2583
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	124.0	2296
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	97.5	1805
V47		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	25.4	1605
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	24.4	1540
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	23.3	1468
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	21.3	1346