



ERG Wind 4 s.r.l.
Via De Marini, 1 - 16149 Genova (GE)

**PROGETTO DI POTENZIAMENTO
DELL'IMPIANTO EOLICO NEI COMUNI DI MOTTA
MONTECORVINO E VOLTURARA APPULA (FG),
IN LOCALITA' SERRA DEFENZA,
DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI 42 MW**



Tecnico
ERG WIND 4 s.r.l.

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

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

Responsabile Commessa
ing. Danilo Pomponio

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
V12		VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITÀ	19042	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC19042D-V12		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC119042D-V12.doc	8+ copertina	
REV	DATA	MODIFICA	Elaborato	Controllato	Approvato
00	20/07/19	Emissione	ERG	Miglionico	Pomponio
01					
02					
03					
04					
05					
06					



MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA **(FG)**

Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità

0	08/07/2019	Prima emissione	DI MAIO	CORBO	DEPERU
REV.	DATA	ATTIVITÀ	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	PAGINA
PRG	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV	DC19042D-V12	1 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	2 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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	13
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	14
3.1	Strumenti utilizzati	14
3.2	Raccolta dei dati e validazione	15
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	16
4	CURVA DI POTENZA	22
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	25
5.1	Il modello digitale del terreno	25
5.2	La rugosità	28
5.3	La risorsa eolica	29
5.4	Risultati del modello	30
6	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE	33

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	3 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	4 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente è situato nella provincia di Foggia, nel comune di Motta Montecorvino e Volturara Appula. L'impianto attualmente è costituito da 25 macchine Vestas V47 di potenza complessiva di 15 MW.

Il nuovo layout ripotenziato si sviluppa nell'area del parco già esistente di Motta Montecorvino e prevede un numero totale di nove aereogeneratori multi-megawatt.

L'unità produttiva si sviluppa su due aree: Motta Montecorvino nell'area settentrionale e Volturara Appula in quella meridionale come mostrato in figura 1 e più nel dettaglio in figura 2a.

La parte di impianto di Motta Montecorvino si sviluppa su due lievi crinali a nord della omonima località. Sul primo crinale, quello a più occidentale, sono installate 5 turbine mentre sul secondo crinale, quello più orientale, sono installate le rimanenti 13 turbine.

Il parco eolico sopradescritto dista 2 km dalla località di Motta Montecorvino.

La parte di impianto di Volturara Appula, è situata su un alto piano; essa è comprensiva di 7 aereogeneratori dislocati sulla dorsale Nord Sud-Est. La sua distanza con la località di Volturara Appula è di 3.5 km.

In direzione occidentale rispetto all'impianto di Motta Montecorvino si sviluppa un'ampia area boschiva.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	5 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

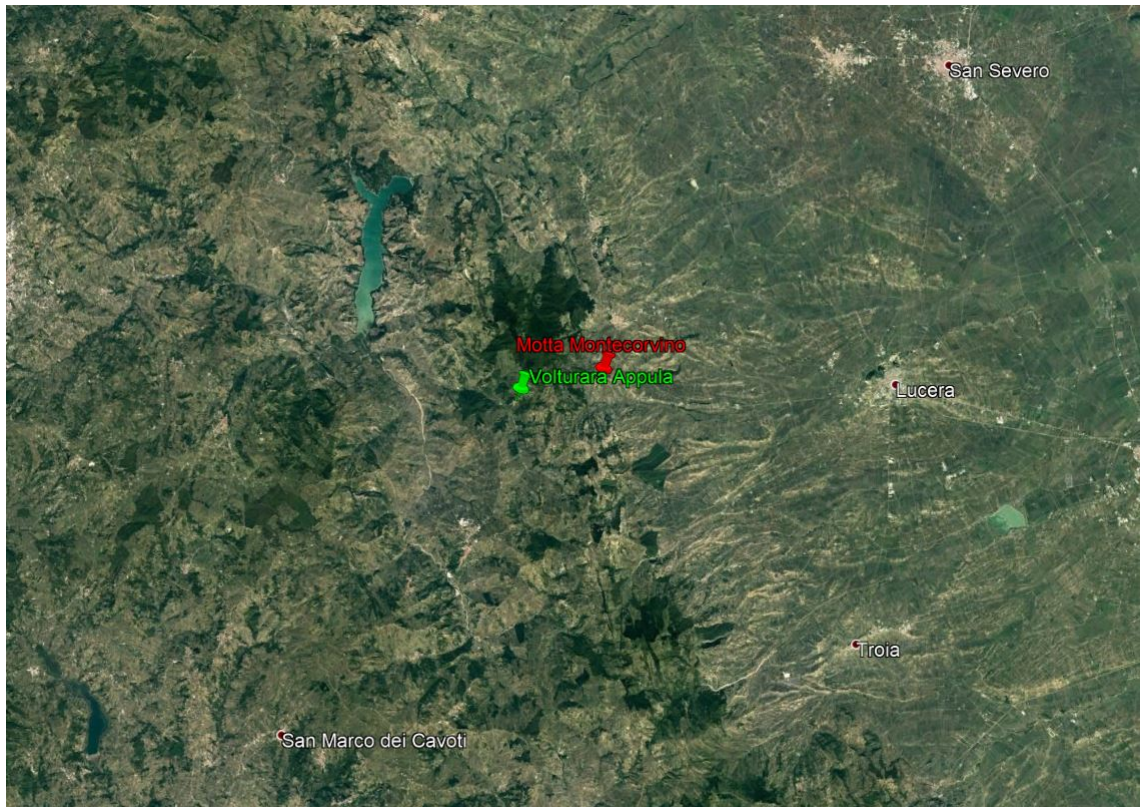


Fig. 1: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	6 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		



Fig. 2a: Inquadramento del sito di Motta Montecorvino e Volturara Appula
 Crinale settentrionale - Motta Montecorvino (area rossa)
 Crinale meridionale – Volturara Appula (area blu)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	7 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		



Fig. 2b: Inquadramento del sito: Motta Montecorvino, crinale settentrionale (vista da Sud)

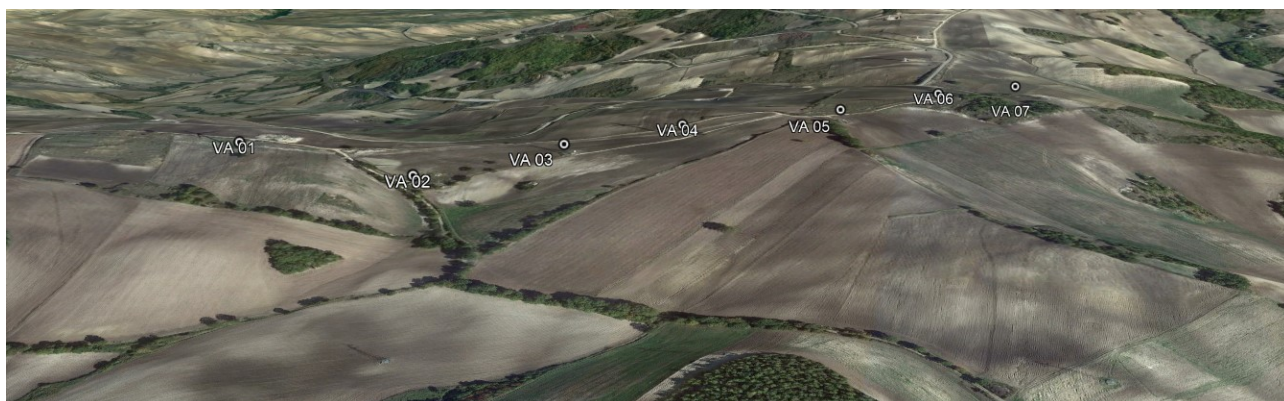


Fig. 2c: Inquadramento del sito: Volturara Appula, crinale meridionale (vista da Ovest)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	8 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

2.2 Layout

Il nuovo layout di impianto è composto da N. 9 aerogeneratori multi-megawatt, dislocati all'interno del territorio comunale di Motta Montecorvino e da N. 7 aerogeneratori in operation in quello di Volturara Appula.

Gli aerogeneratori futuri sono quindi disposti sul solo crinale di Motta Montecorvino.

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG	E	N	
R-MT01	508892	4597183	646
R-MT02	509372	4597071	583
R-MT03	510032	4597168	575
R-MT04	510381	4597133	556
R-MT05	510642	4596886	550
R-MT06	510938	4596682	544
R-MT07	511161	4596385	512
R-MT08	511262	4596043	474
R-MT09	509726	4596791	573
VA01	507026	4592050	746
VA02	506990	4591845	742
VA03	507088	4591724	752
VA04	507177	4591621	766
VA05	507225	4591459	766
VA06	507301	4591359	766
VA07	507352	4591275	766

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	9 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

2.3 Aerogeneratori adottati

Per la stima di producibilità energetica di Motta Montecorvino Volturara Appula vengono prese in esame tre diverse tipologie di aerogeneratori, in particolare V117 4.2 MW HH116.5, N117 3.6 MW HH120 e M114 3.6 MW HH119 di cui si riportano di seguito le relative caratteristiche e curve di potenza garantite dal costruttore a densità media di sito ($\rho=1.125 \text{ kg/m}^3$).

Di seguito la curva di potenza del primo modello analizzato, per cui è stata utilizzata una curva di potenza a 1.125 kg/m^3 :

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	10 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

Modello	V117 4.2
Produttore	Vestas
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	117
Altezza del mozzo (m)	116.5

Velocità del vento (m/s)	V117 [$\rho=1.125$ kg/m³] (kW)
3	16
4	130
5	301
6	549
7	899
8	1365
9	1960
10	2645
11	3288
12	3801
13	4100
14	4179
15	4198
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.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	11 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

Il secondo aerogeneratore preso in esame è Nordex N117 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	N117 3.6
Produttore	Nordex
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	117
Altezza del mozzo (m)	120

Velocità del vento (m/s)	N117 [$\rho=1.125 \text{ kg/m}^3$] (kW)
3	11
4	131
5	323
6	590
7	956
8	1436
9	2013
10	2625
11	3148
12	3452
13	3538
14	3600
15	3600
16	3600
17	3600
18	3600
19	3600
20	3600
21	3600
22	3600
23	3600
24	3600
25	3600

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	12 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

L'ultimo aerogeneratore preso in considerazione è Senvion M114, per cui è stata utilizzata una curva di potenza fornita dal costruttore ($\rho=1.120 \text{ kg/m}^3$) riportata di seguito.

Modello	M114 3.6
Produttore	Senvion
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	114
Altezza del mozzo (m)	119

Velocità del vento (m/s)	M114 [$\rho=1.120 \text{ kg/m}^3$] (kW)
3	37
4	146
5	312
6	554
7	893
8	1350
9	1897
10	2453
11	2964
12	3361
13	3559
14	3600
15	3600
16	3600
17	3600
18	3600
19	3600
20	3600
21	3600
22	3600

Per un ulteriore approfondimento delle curve utilizzate nel software con cui è stata effettuata l'analisi fluidodinamica si rimanda al capitolo 6.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	13 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

2.4 Allacciamento alla rete elettrica

L'impianto attuale è connesso alla adiacente stazione di proprietà Terna, situata nel Comune Volturara Appula.

L'ipotesi di progetto prevede il mantenimento dell'attuale punto di connessione.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	14 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

3 CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Data le ridotte dimensioni del sito, è stato possibile realizzare un solo modello fluidodinamico che comprende l'impianto di Motta Montecorvino. Nell'area di interesse sono state installate due torri anemometriche, di altezza 30 m e 10 m.

3.1 Strumenti utilizzati

La campagna anemometrica è stata condotta in sito mediante le 2 torri anemometriche MMC03 MMC04

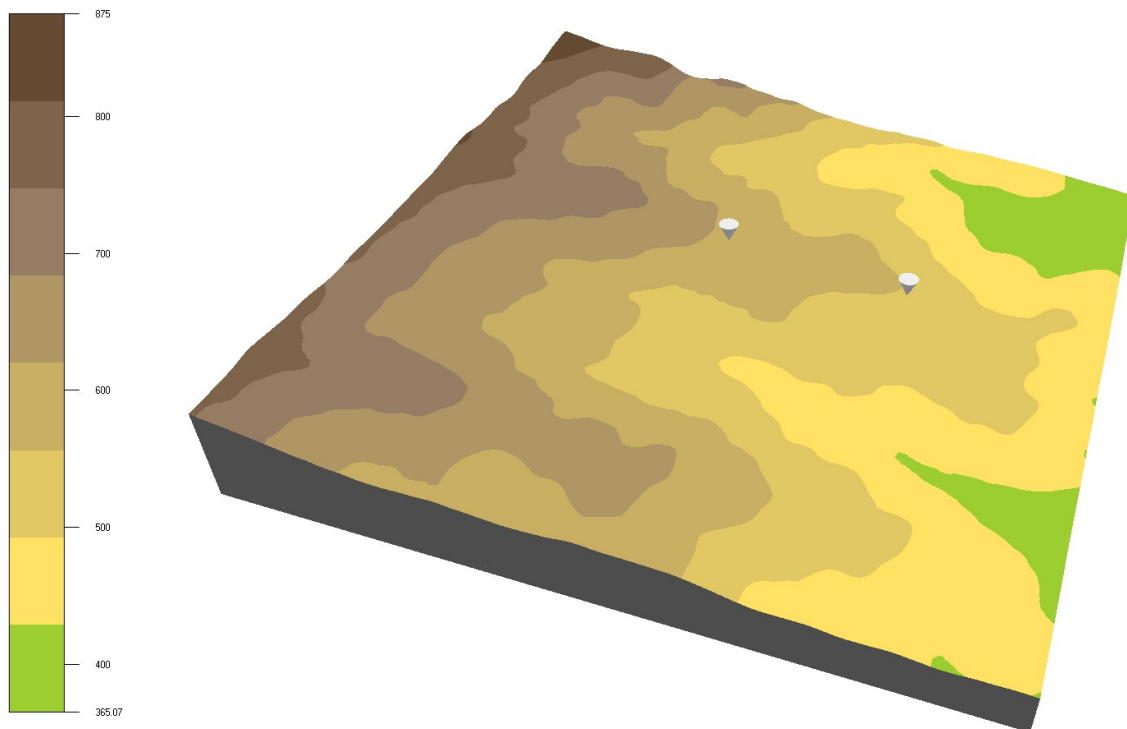


Fig. 3: Stazioni di misura in sito

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Quota (m)	Altezza (m)	dal	al
MMC03	509245	4597229	599	30	04/01/2008	02/03/2015
MMC04	510452	4597127	557	10	02/01/2008	12/01/2015

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	15 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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.

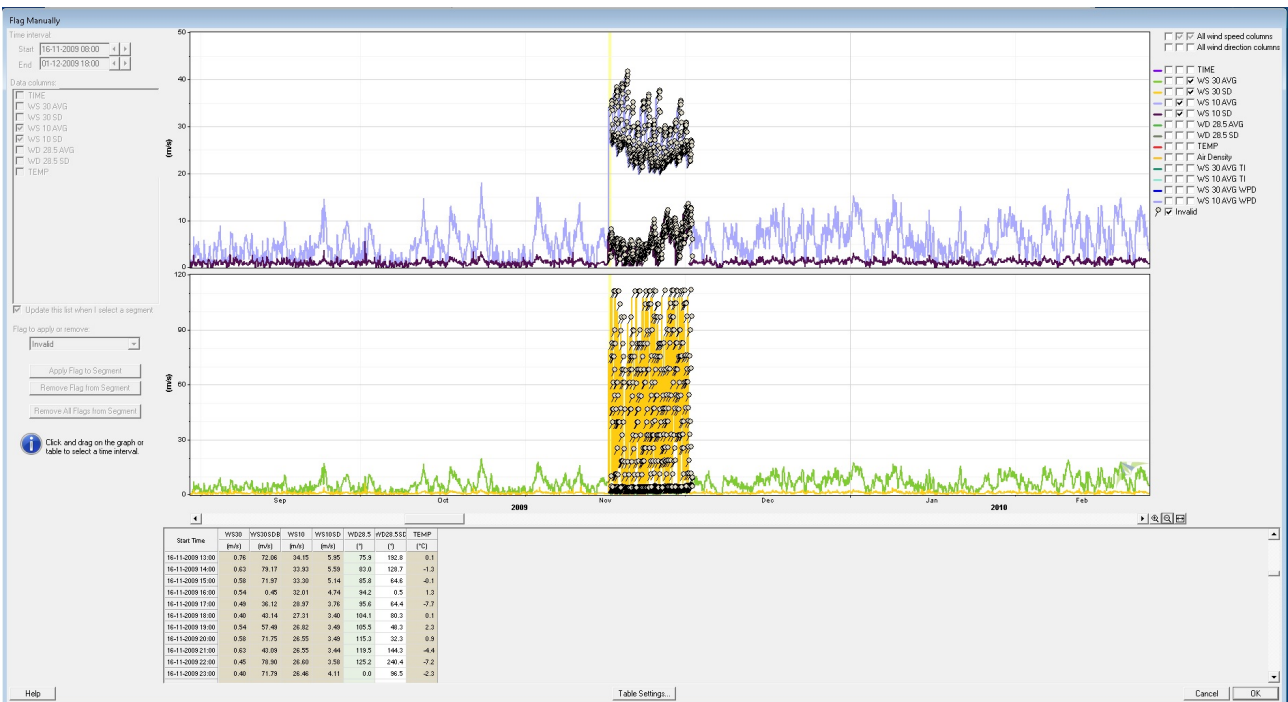


Fig. 4: Validazione anemometro

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.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	16 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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 all'anemometro MMC04

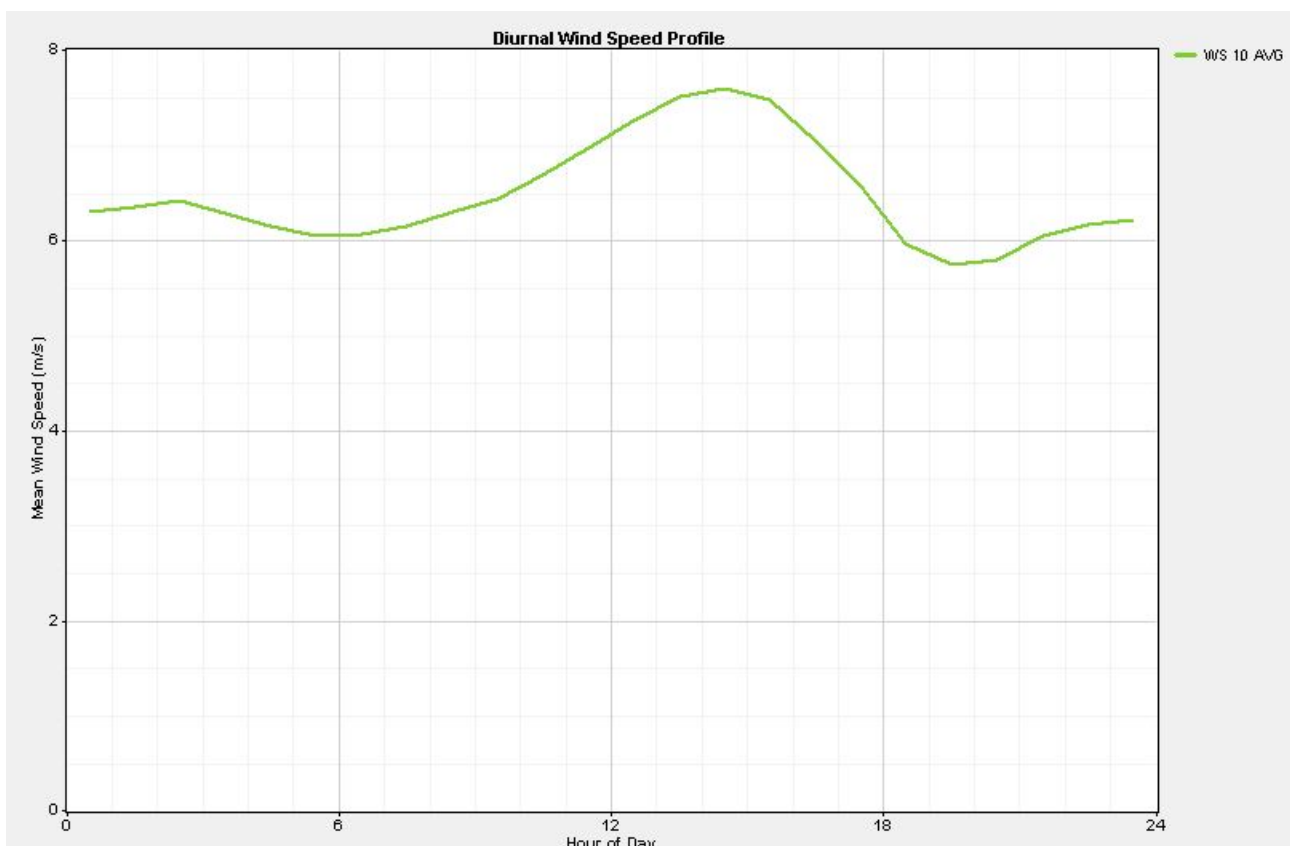


Fig. 5: Profilo giornaliero di velocità – MMC04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	17 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		



Fig. 6: Profilo mensile di velocità – MMC04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	18 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

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

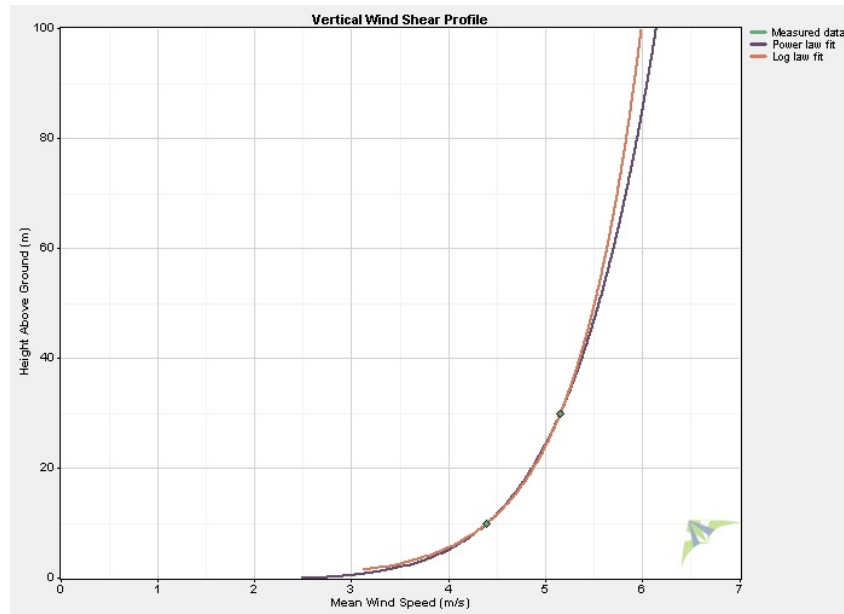


Fig. 7: Profilo verticale di velocità (wind shear)

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.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	19 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

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

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: 2002-2017) 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.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	20 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

site name	MMC03-50-5		
filename	MMC03-50-5		
measurement period	04.01.08 - 02.03.15	# records = 57935	
position	x = 509245.0	y = 4597229.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.69	A = 7.41	average = 6.31

Table 1. Climatology characteristics, including Weibull (k, A) and average wind speed (m/s) of all sectors.

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors

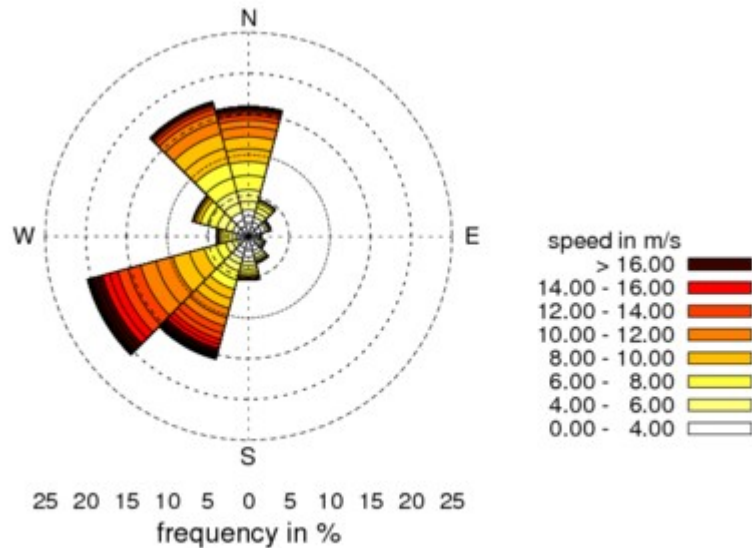


Fig. 8: Tabella di frequenze MMC03-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	21 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

site name	MMC04-50-5		
filename	MMC04-50-5		
measurement period	02.01.08 - 12.01.15	# records = 60440	
position	x = 510452.0	y = 4597127.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.38	A = 7.76	average = 6.91

Table 1. Climatology characteristics, including Weibull (k,A) and average wind speed (m/s) of all sectors.

Frequency distribution
 ◀ ▶ Sector: all Sectors

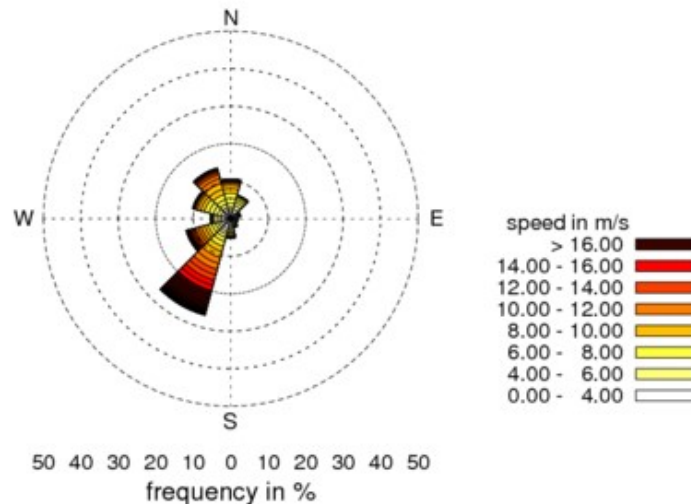


Fig 9: Tabella di frequenze MMC04-50m

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=91m-91.5).

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	22 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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. 557 s.l.m. dell'area d'impianto di Motta Montecorvino). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media rispettivamente pari a $\rho = 1,125 \text{ kg/m}^3$.

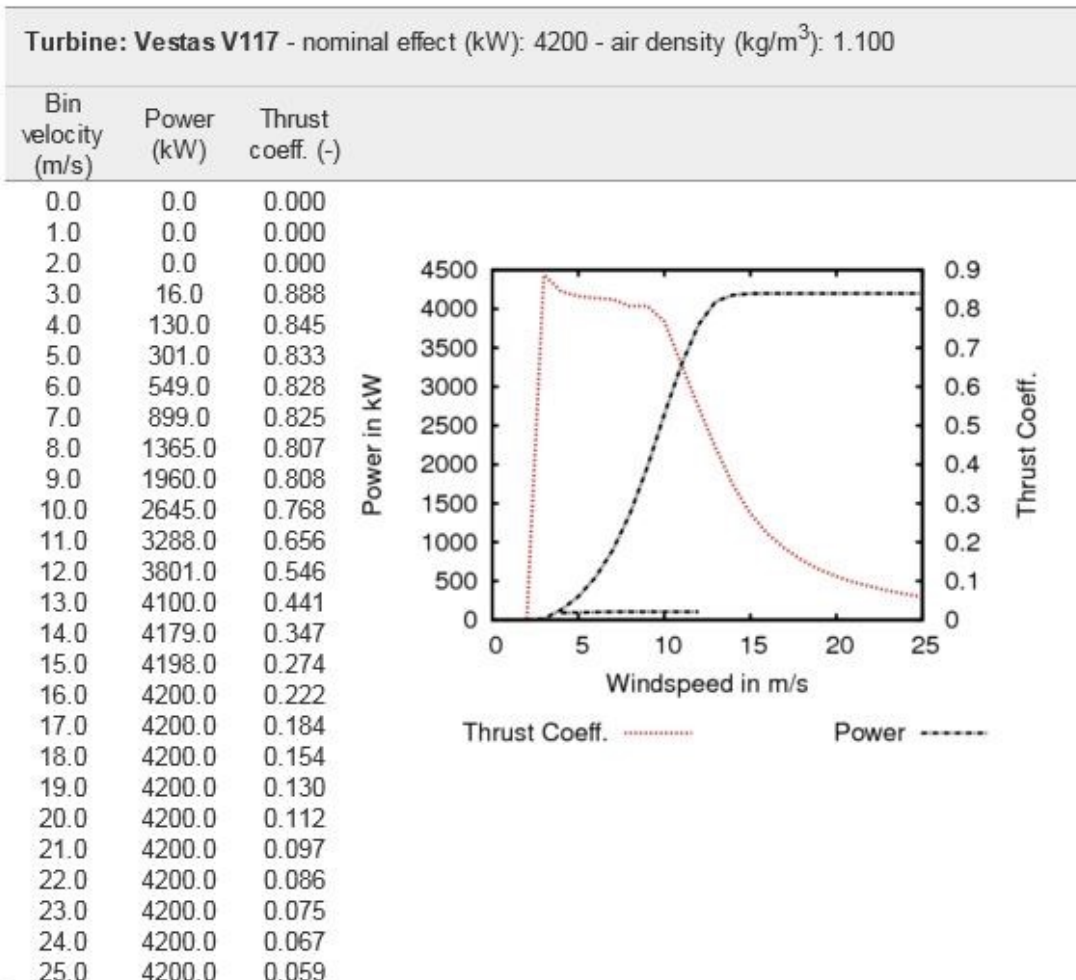


Fig. 10: Aerogeneratore Vestas V117 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	23 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

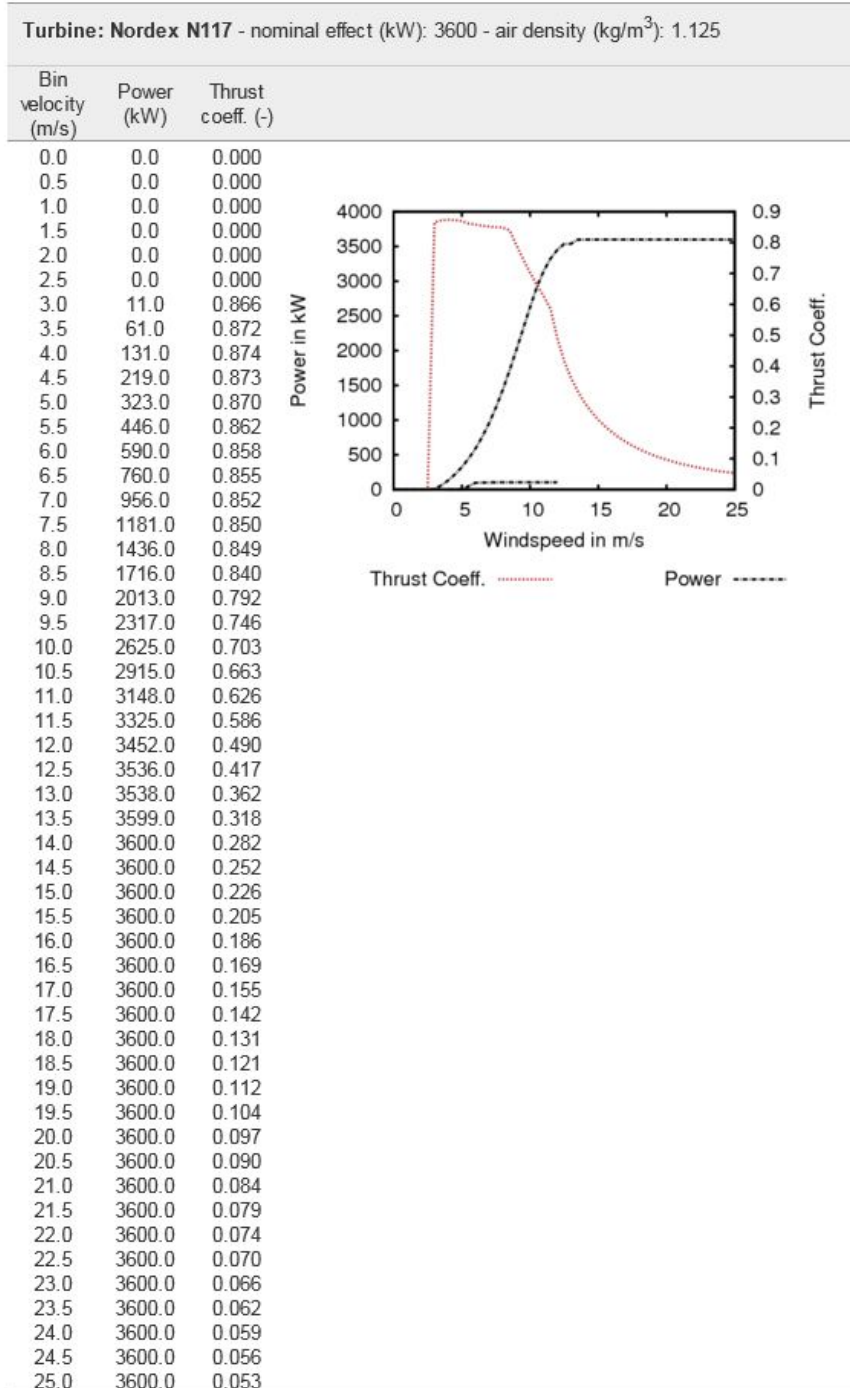


Fig. 11: Aerogeneratore Nordex N117 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	24 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

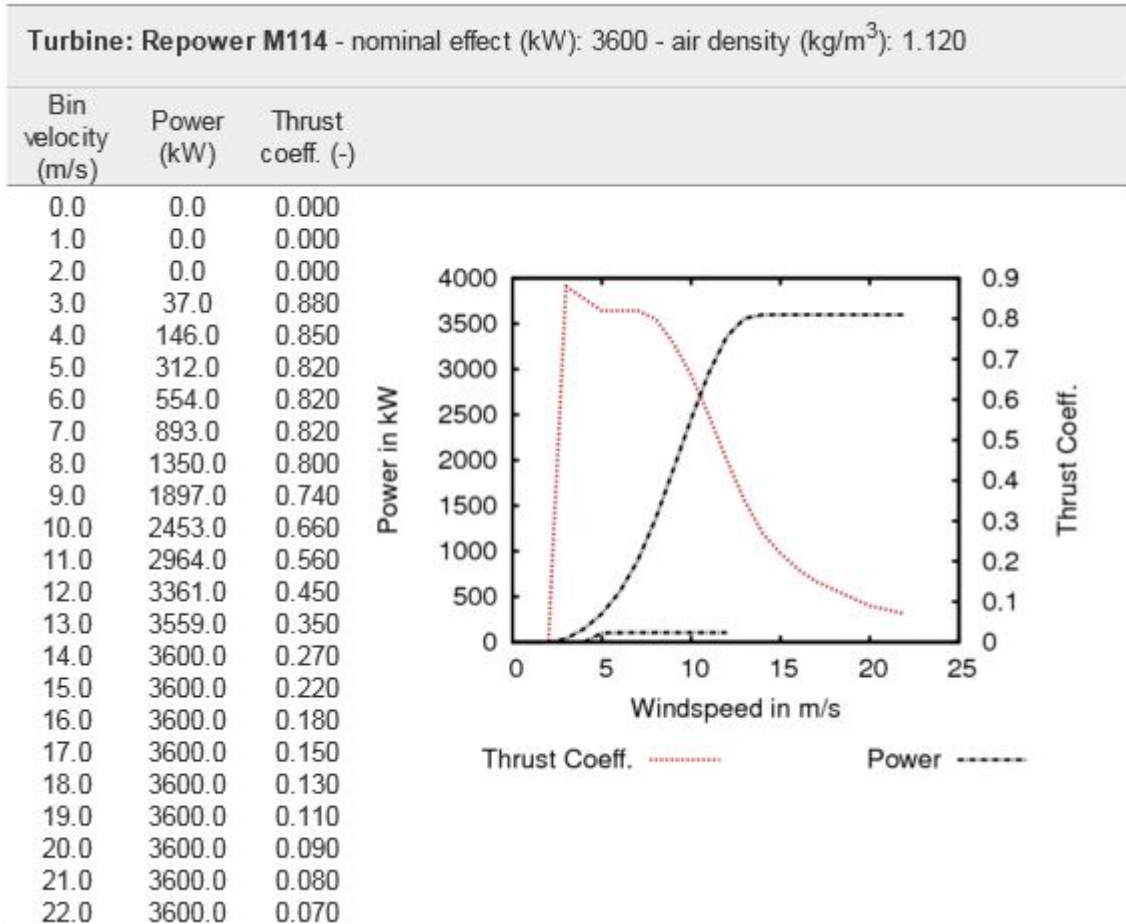


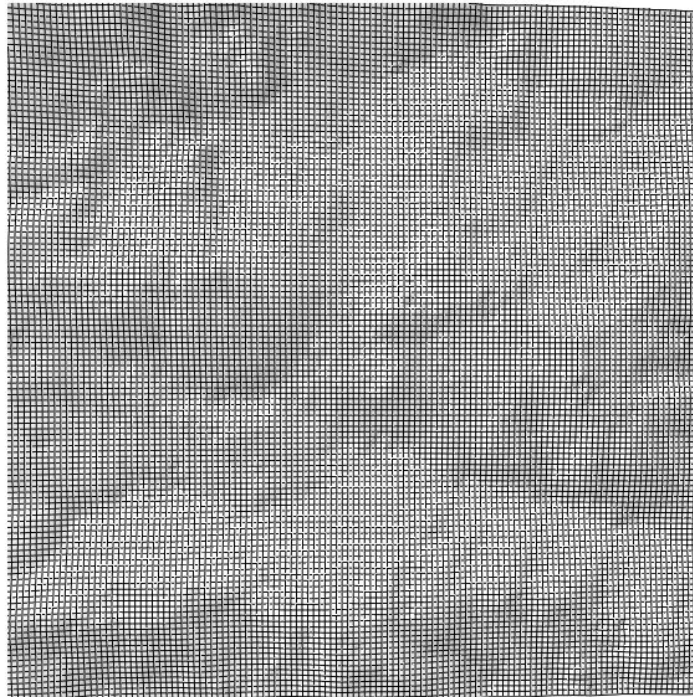
Fig. 12: Aerogeneratore Senvion M114 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	25 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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 36 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.



	x	y	z	total
Grid spacing (m)	36.0	36.0	Variable	-
Number of cells	125	125	25	390625

Fig. 13: Mesh orizzontale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	26 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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 Salemi):

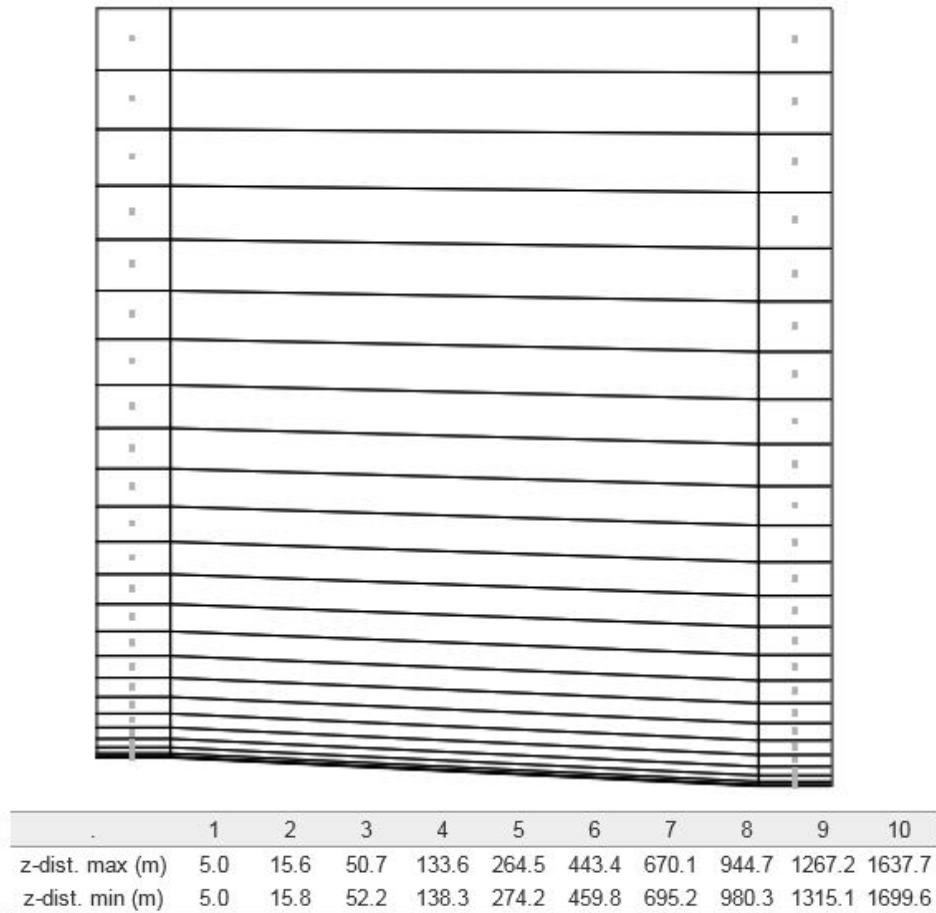


Fig. 14: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	27 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

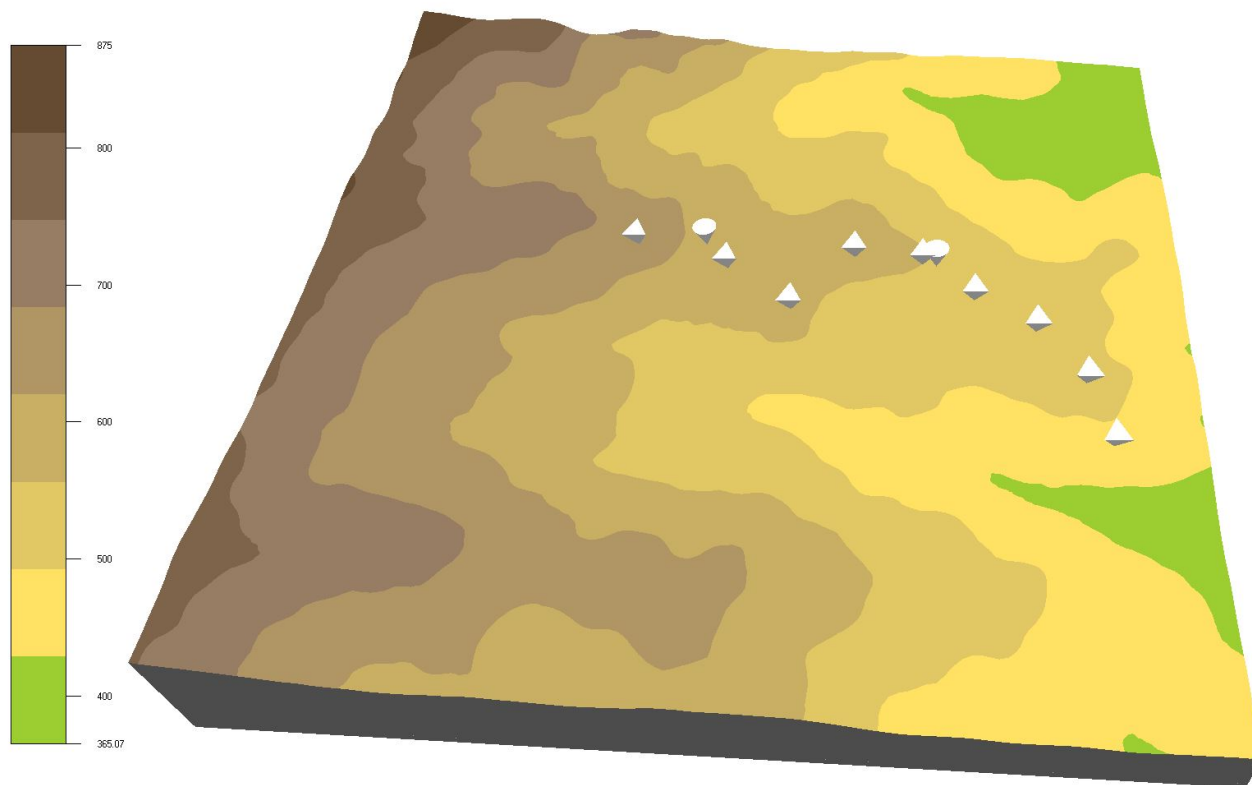


Fig. 15: Mappa 3D area di sito di Motta Montecorvino

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	28 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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 di Motta Montecorvino:

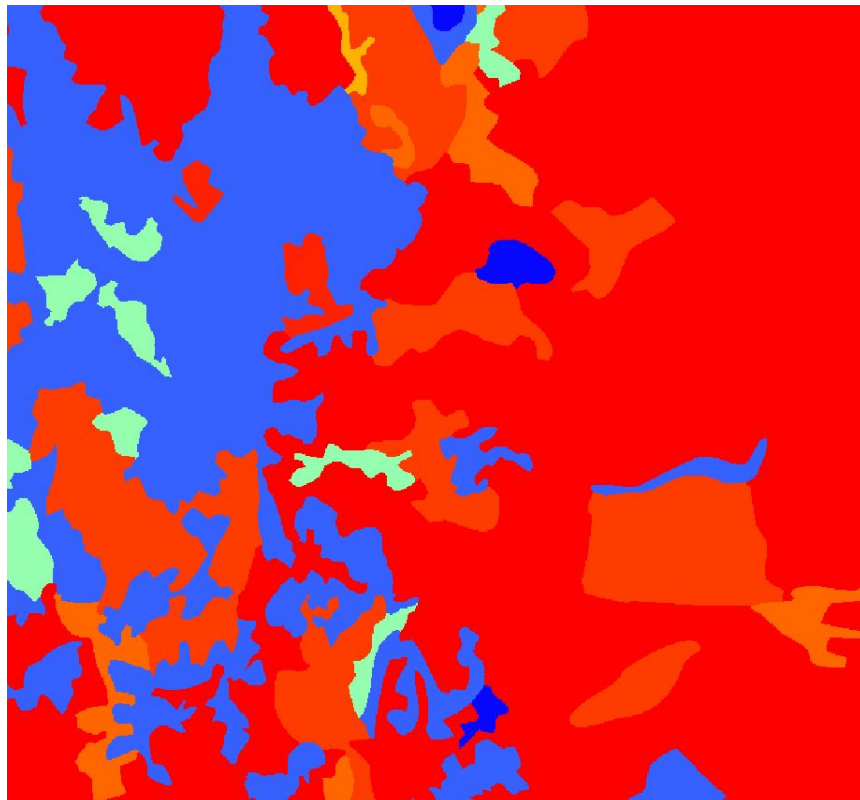


Fig. 16: Mappa di rugosità

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	29 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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 all'impianto, estrapolate in corrispondenza dell'altezza mozzo di turbina:

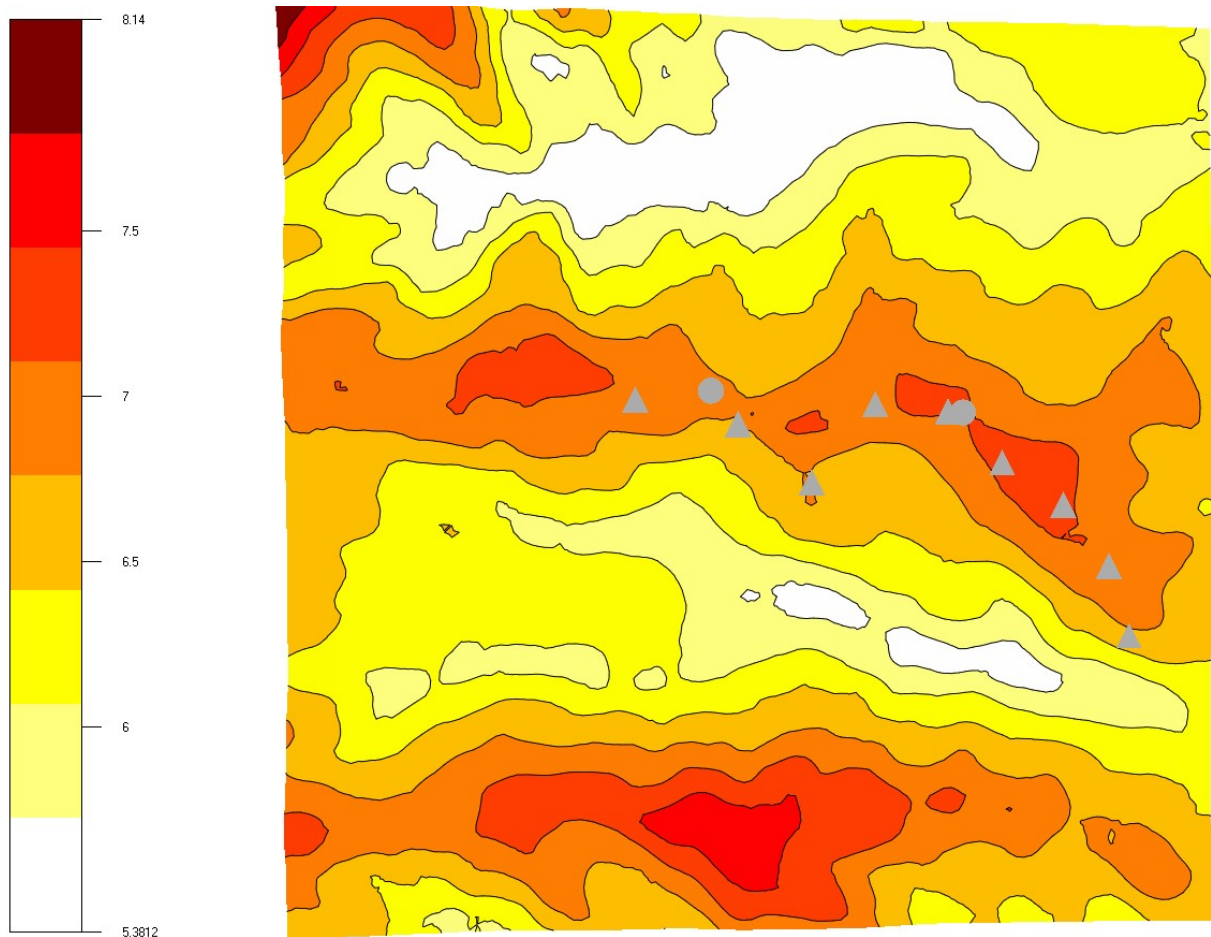


Fig. 17: Mappa di ventosità a 120 m s.l.s

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	30 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

5.4 Risultati del modello

A questo punto sono noti tutti gli elementi per avere una prima stima della producibilità energetica prevista per i diversi modelli di 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:

	V117	V47
Numero WTG	9	7
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	116375	

	N117	V47
Numero WTG	9	7
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	109326	

	M114	V47
Numero WTG	9	7
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	104444	

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	31 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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.

V117					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MT01	6.98	12511	6.98	12500	0.1%
R-MT02	6.75	11840	6.71	11741	0.8%
R-MT03	6.99	12073	6.81	11497	4.8%
R-MT04	7.08	11886	6.95	11483	3.4%
R-MT05	7.14	12191	6.96	11626	4.6%
R-MT06	7.18	12476	7.01	12000	3.8%
R-MT07	7.03	12199	6.85	11550	5.3%
R-MT08	6.68	11417	6.41	10468	8.3%
R-MT09	6.71	11477	6.61	11210	2.3%
Media	6.95	12008	6.81	11564	3.3%

N117					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MT01	7.03	11735	7.02	11723	0.1%
R-MT02	6.80	11148	6.76	11049	0.9%
R-MT03	7.03	11278	6.85	10781	4.4%
R-MT04	7.11	11060	6.98	10688	3.4%
R-MT05	7.17	11336	6.99	10801	4.7%
R-MT06	7.21	11610	7.04	11130	4.1%
R-MT07	7.05	11368	6.88	10775	5.2%
R-MT08	6.71	10697	6.44	9817	8.2%
R-MT09	6.75	10789	6.65	10511	2.6%
Media	6.98	11225	6.85	10808	3.3%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	32 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

M114					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MT01	7.02	11227	7.01	11217	0.1%
R-MT02	6.78	10646	6.75	10559	0.8%
R-MT03	7.02	10743	6.86	10312	4.0%
R-MT04	7.11	10456	6.98	10140	3.0%
R-MT05	7.16	10739	7.00	10286	4.2%
R-MT06	7.20	11007	7.04	10604	3.7%
R-MT07	7.05	10844	6.88	10333	4.7%
R-MT08	6.70	10181	6.46	9443	7.3%
R-MT09	6.74	10295	6.64	10057	2.3%
Media	6.98	10682	6.85	10328	2.9%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	33 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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:

Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3.00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3.00%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	2.50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0.20%
Perdite dovute al rumore	1.00%
Totale perdite escluso scie	9.36%

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

	V117	N117	M114
Numero WTG	9	9	9
Produzione netta WTG - P50 (MWh/anno)	10481	9797	9361

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	34 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

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

$$Prod_{netta_specifica} = \frac{Prod_{netta_WTG}}{Pot_{nom_WTG}}$$

V117	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MT01	6.98	2698
R-MT02	6.75	2534
R-MT03	6.99	2481
R-MT04	7.08	2478
R-MT05	7.14	2509
R-MT06	7.18	2590
R-MT07	7.03	2492
R-MT08	6.68	2259
R-MT09	6.71	2419
Media	6.95	2496

N117	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MT01	7.03	2952
R-MT02	6.80	2782
R-MT03	7.03	2714
R-MT04	7.11	2691
R-MT05	7.17	2719
R-MT06	7.21	2802
R-MT07	7.05	2713
R-MT08	6.71	2472
R-MT09	6.75	2646
Media	6.98	2721

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	35 di 36
MTV	ENG	REL	0012	0		

M114	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MT01	7.02	2824
R-MT02	6.78	2659
R-MT03	7.02	2596
R-MT04	7.11	2553
R-MT05	7.16	2590
R-MT06	7.2	2670
R-MT07	7.05	2602
R-MT08	6.70	2377
R-MT09	6.74	2532
Media	6.98	2600

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

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

	V117	V47
Numero WTG	9	7
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	101893	

	N117	V47
Numero WTG	9	7
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	95729	

	M114	V47
Numero WTG	9	7
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	91810	

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MOTTA MONTECORVINO VOLTURARA APPULA (FG) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	36 di 36
MTV	ENG	REL	0012	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, individua tre differenti macro-aree, per ognuna delle quali viene determinata la relativa incertezza di calcolo. Si riportano le tabelle per ogni sotto-area:

	V117	N117	M114	V47
incertezza sulla storicizzazione del sito	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
incertezza sul processo di micrositing	15.3%	15.7%	15.6%	14.9%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Incertezza complessiva	17.0%	17.3%	17.2%	16.7%

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

9V117 + 7V47		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	101.9	2191
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	96.4	2074
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	90.3	1942
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	79.8	1718

9N117 + 7V47		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	95.7	2318
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	90.5	2192
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	84.6	2051
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	74.5	1810

9M114 + 7V47		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	91.8	2250
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	86.8	2128
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	81.2	1992
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	71.6	1759