

REGIONE MOLISE

Provincia di Campobasso

COMUNI DI MACCHIA VALFORTORE – MONACILIONI - PIETRACATELLA

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO DI MACCHIA VALFORTORE – MONACILIONI – PIETRACATELLA – S. ELIA A PIANISI



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE

ERG Wind 4



PROGETTISTA



OGGETTO DELL'ELABORATO

815.R.007 – Relazione specialistica – Studio anemologico



ERG Wind 4 srl

Società con unico socio (ERG Wind Molise) s.r.l. soggetto ad attività di direzione e coordinamento di ERG spa

www.erg.eu

Torre WTC Via De Marini 1
16149 Genova Italia
ph +39 010 24011
fax +39 010 2401490

Sede Legale: Torre WTC Via De Marini 1 16149 Genova Italia Cap. Soc. euro 6.632,737,001 i.V. R.E.A. Genova 477792 Reg. Impr. GE Cod. Fisc. e P. IVA 02269650640

Rev.

00

Data di emissione

15/12/2018



MACCHIA VALFORTORE -MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (CB)

STUDIO ANEMOLOGICO *Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità*

0	15/12/2018	Prima emissione	CDM-MBB	FC	CD
REV.	DATA	ATTIVITÀ	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	PAGINA
PRG	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV	815.R007-00 Studio Anemologico	1 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	2 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RAPPRESENTAZIONE DEL SITO	4
2.1	Descrizione del sito	4
2.2	Layout	9
2.3	Aerogeneratori adottati	10
2.4	Allacciamento alla rete elettrica	14
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	15
3.1	Strumenti utilizzati	15
3.2	Raccolta dei dati e validazione	17
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	18
4	CURVA DI POTENZA	28
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	32
5.1	Il modello digitale del terreno	32
5.2	La rugosità	36
5.3	La risorsa eolica	37
5.4	Risultati del modello	39
6	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE	43

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	3 di 51
MAC	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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	4 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente copre un'area vasta, con estensione Nord-Sud di 7.2 km, Est-Ovest di 5.3 km, sul territorio di quattro comuni nella provincia di Campobasso: Macchia Valfortore, Pietracatella, Sant'Elia a Pianisi e Monacilioni. Il parco attuale è costituito da 41 macchine V47 da 660 kW e 12 macchine V52 da 850 kW, per un totale di 37.26 MW. Il nuovo parco ripotenziato è composto da 16 aereogeneratori multi-megawatt e si sviluppa nell'area dell'impianto esistente.

L'impianto esistente si sviluppa su due aree ben distinte, come riportato in figura 1a. L'area Nord comprende le turbine da MN01 a MN15, l'area Sud include le turbine da MN16 a MN22 e quelle di Macchia Valfortore, Pietracatella e Sant'Elia a Pianisi. Le due aree del parco sono separate da una vasta area boschiva

L'area Nord dell'impianto si sviluppa principalmente lungo un crinale a Nord-Est del comune di Monacilioni, per un'estensione di 2.8 km. Fa eccezione l'aerogeneratore MN01, situato a Nord della Strada Statale 87.

L'area Sud dell'impianto comprende le 4 turbine MN16 MN17 MN18 e MN19, situate immediatamente a Sud dell'area boschiva, e le restanti turbine, che si sviluppano lungo tre crinali distinti. Il primo si sviluppa in direzione Est-Sud-Est verso Macchia Valfortore, per un'estensione di 2.3 km. I restanti due si sviluppano in direzione Sud-Sud-Est, in direzione della località di Pietracatella, e Sud.

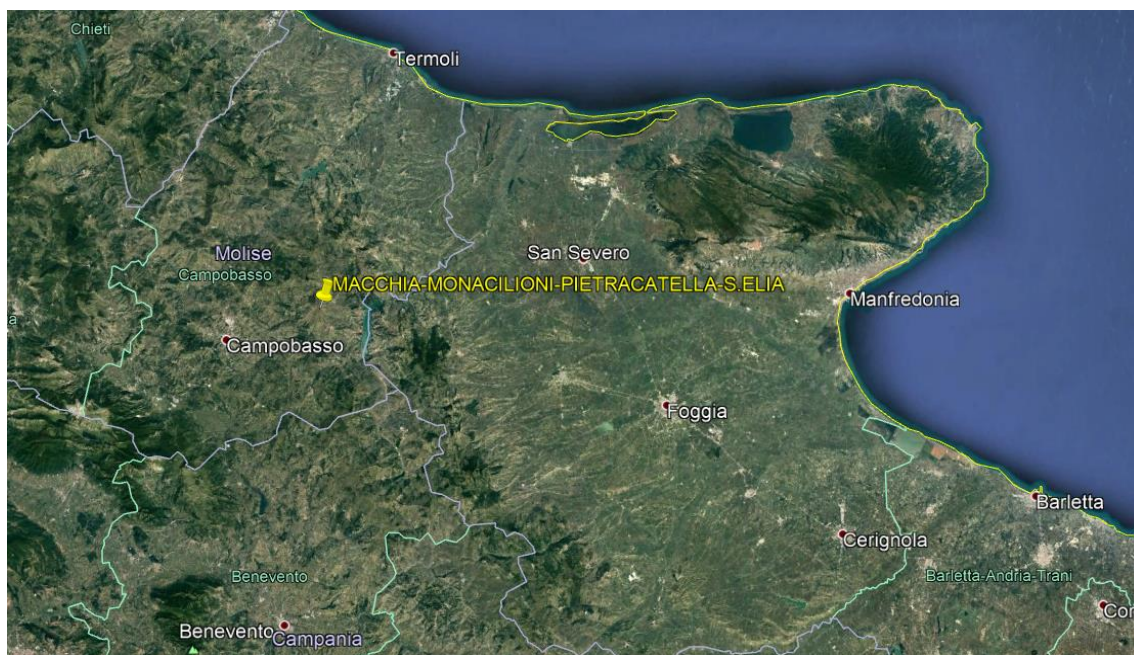


Fig. 1: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	5 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

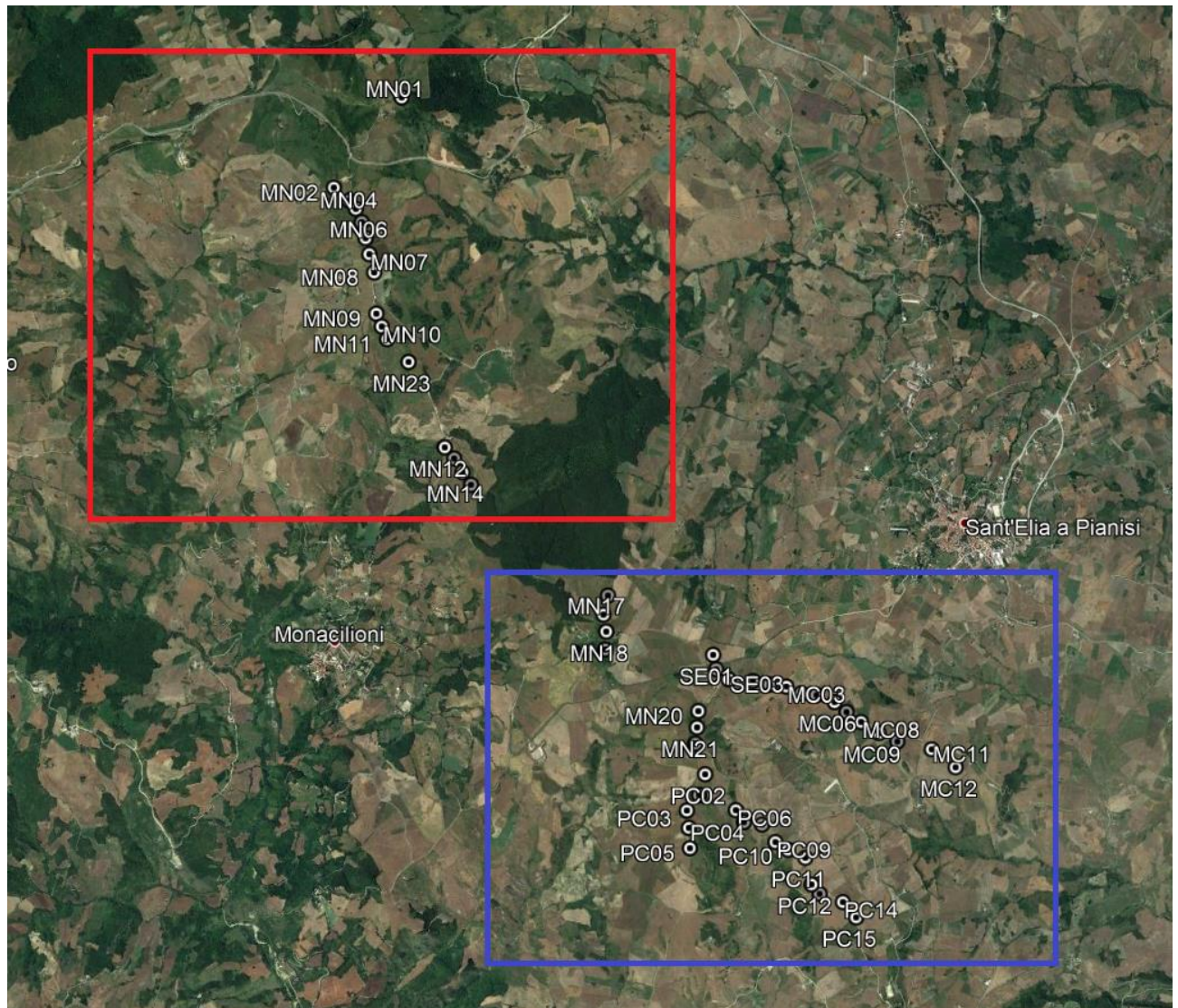


Fig. 1a: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	6 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		



Fig. 1b: Inquadramento del sito Area Nord – Monacilioni (riquadro rosso in Fig.1a)



Fig. 1c: Inquadramento del sito Area Nord: vista da Est

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	7 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

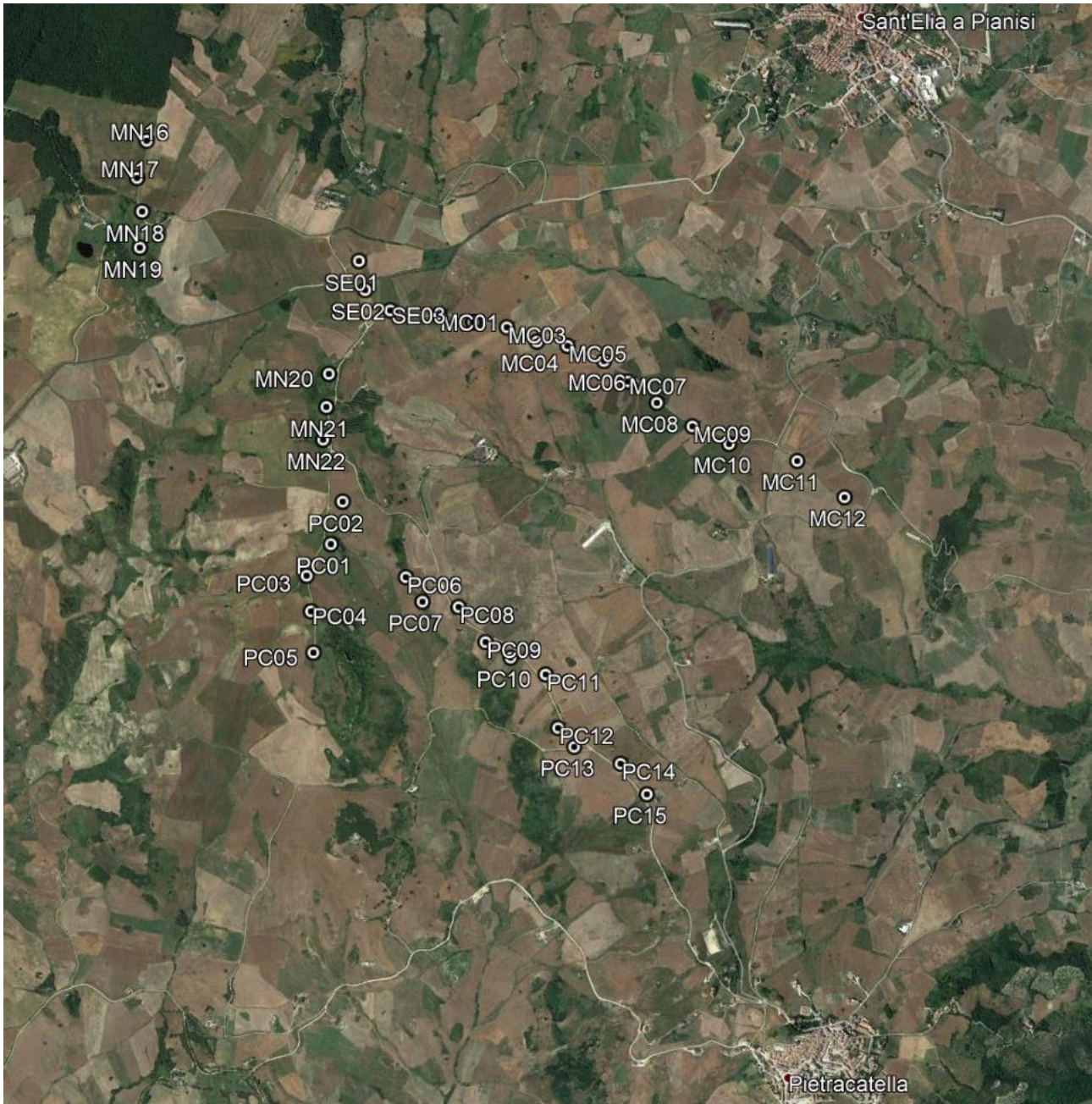


Fig. 1d: Inquadramento del sito Area Sud (riquadro blu in Fig.1a)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	8 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		



Fig. 1e: Inquadramento del sito Area Sud: Monacilioni- vista da Ovest



Fig. 1f: Inquadramento del sito Area Sud: S.Elia – vista da Ovest



Fig. 1g: Inquadramento del sito Area Sud: Macchia- vista da Nord Ovest



Fig. 1h: Inquadramento del sito Area Sud: Pietracatella e Monacilioni. Vista da Ovest

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	9 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

2.2 Layout

Il nuovo layout di impianto è composto da N. 16 aerogeneratori, dislocati all'interno di territori comunali di Macchia, Monacilioni, S. Elia e Pietracatella.

Gli aerogeneratori (esistenti e anche quelli futuri) sono disposti in due aree differenti come mostrate nelle Fig. 1.

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG	E	N	
R-MN01	484264	4610597	847,5
R-MN02	484559	4610280	858,0
R-MN03	484652	4609440	896,5
R-MN04	484932	4609110	861,5
R-MN05	485166	4608404	803,0
R-PC01	487339	4605734	874,0
R-PC02	487706	4605237	795,1
R-PC03	488159	4604994	764,6
R-PC04	488447	4604607	732,8
R-PC05	488695	4604355	714,0
R-MC01	487806	4606447	857,8
R-MC02	488198	4606318	826,4
R-MC03	488599	4606150	790,1
R-MC04	488928	4605945	735,5
R-MC05	489322	4605787	693,7
R-MC06	489844	4605714	631,7

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	10 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

2.3 Aerogeneratori adottati

Per la stima di producibilità energetica di questo impianto 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 ($\rho=1.12 \text{ kg/m}^3$).

Di seguito la curva di potenza del primo modello analizzato, V136, fornita dal costruttore alla densità media di sito:

Modello	V136 4.2
Produttore	Vestas
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	41.0
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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	11 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

Il secondo aerogeneratore preso in esame è N131 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.12\text{kg/m}^3$) 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 [$\rho=1.1250\text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	14.0
4	165.0
5	408.0
6	764.0
7	1205.0
8	1807.0
9	2537.0
10	3281.0
11	3730.0
12	3892.0
13	3900.0
14	3900.0
15	3900.0
16	3900.0
17	3900.0
18	3900.0
19	3900.0
20	3900.0
21	3771.0
22	3327.0
23.0	2906.0
24.0	2855.0
25.0	2820.0

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	12 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

Il terzo aerogeneratore preso in esame è M140 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.12 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

Modello	M140 4.2
Produttore	Senvion
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

Il quarto aerogeneratore preso in esame è SG145 la cui curva di potenza fornita dal costruttore

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	13 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

alla densità media di sito ($\rho=1.12 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

Modello	SG145 4.5
Produttore	Simens 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	48.0
4	217.0
5	503.0
6	918.0
7	1494.0
8	2244.0
9	3103.0
10	3877.0
11	4348.0
12	4480.0
13	4495.0
14	4499.0
15	4500.0
16	4500.0
17	4500.0
18	4499.0
19	4495.0
20	4475.0
21	4423.0
22	4326.0
23.0	4185.0
24.0	4020.0
25.0	3856.0
26.0	3709.0
27.0	3593.0

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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	14 di 51
MAC	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 Pietracatella provincia di Campobasso.

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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	15 di 51
MAC	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 2 parti: area nord e area sud come mostrato in Fig1a.

3.1 Strumenti utilizzati

La campagna anemometrica è stata condotta in sito con 5 torri anemometriche. L' area nord è stata costruita con 2 torri di misura

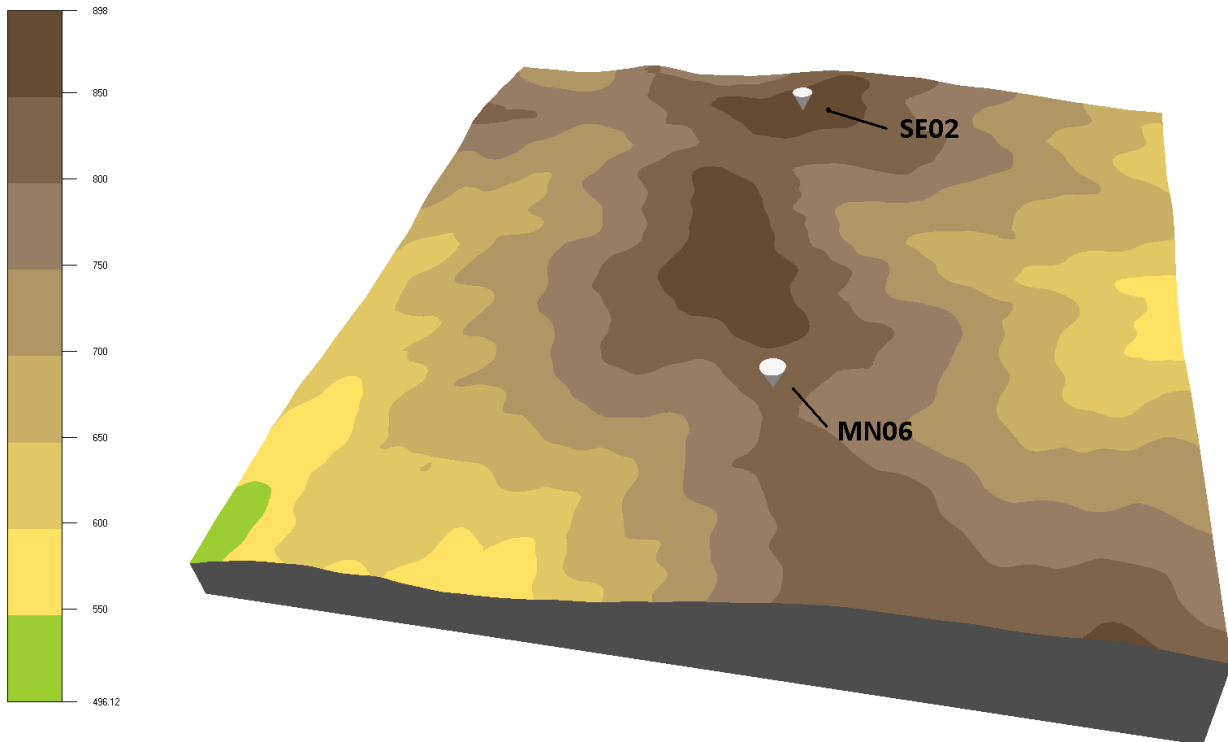


Fig. 2: Stazioni di misura in sito: SE02 e MN06 (area nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	16 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

L' area sud è stata costruita con 3 torri di misura

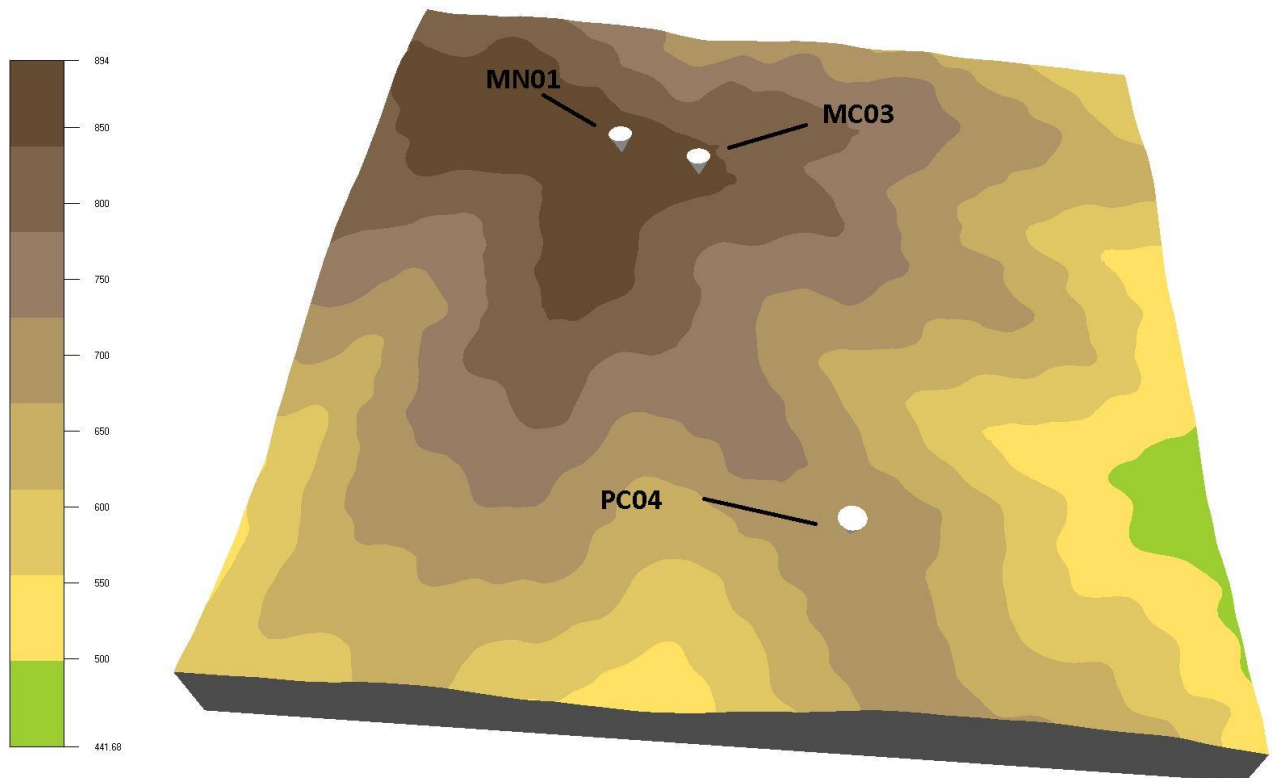


Fig. 3: Stazioni di misura in sito: MN01, MC03 e PC04 (area sud)

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Altezza (m)
MAC03	487865	4606433	10
MN01	487423	4606560	10
PC04	488737	4604245	30
MN06	485069	4608715	30
SE02	484750	4611340	30

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	17 di 51
MAC	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.



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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	18 di 51
MAC	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 cinque torri di misura (PC04)

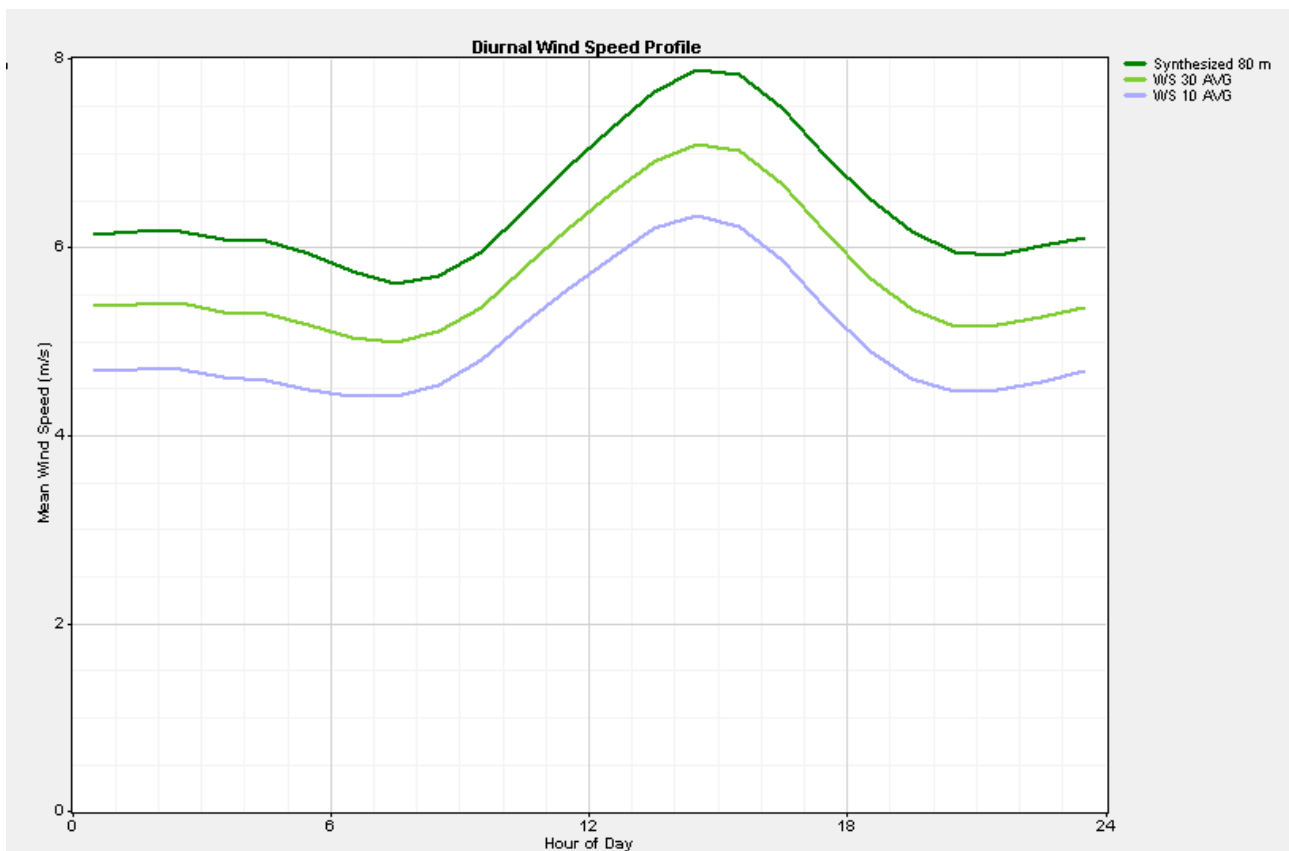


Fig. 5: Profilo giornaliero di velocità – PC04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	19 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

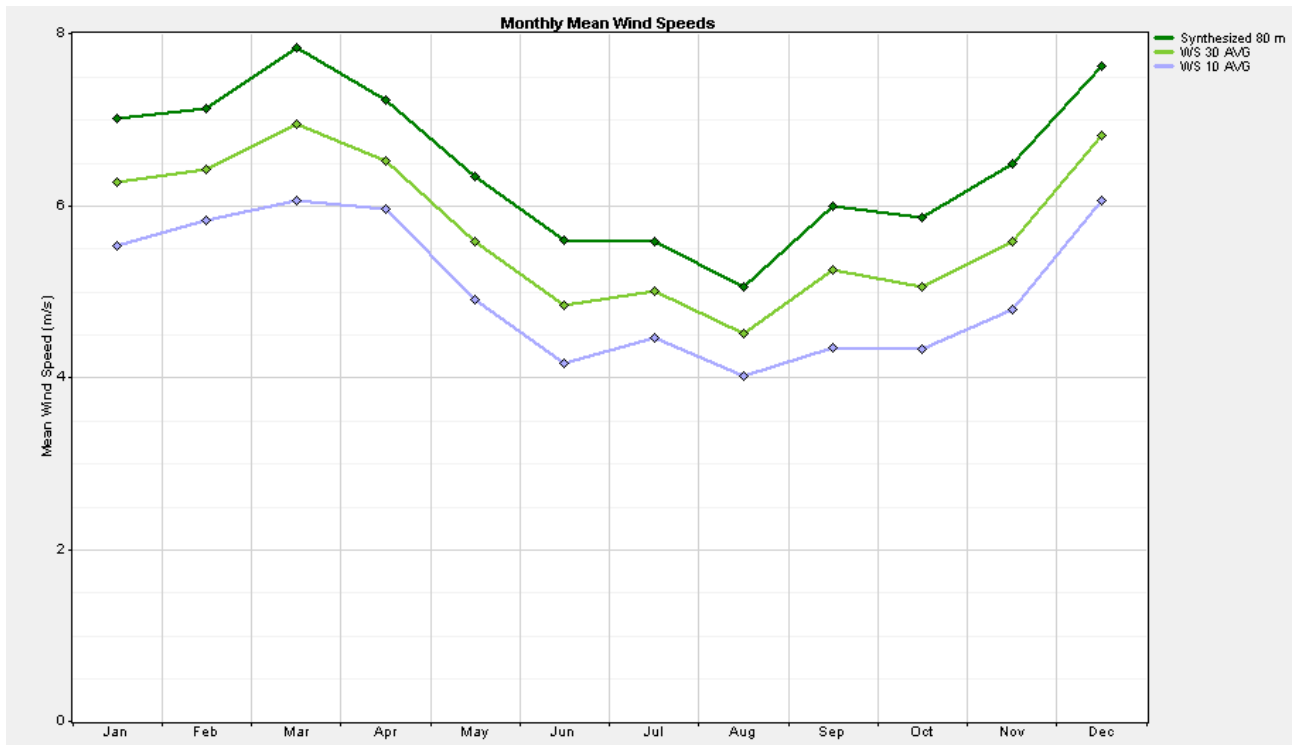


Fig. 6: Profilo mensile di velocità –PC04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	20 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

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

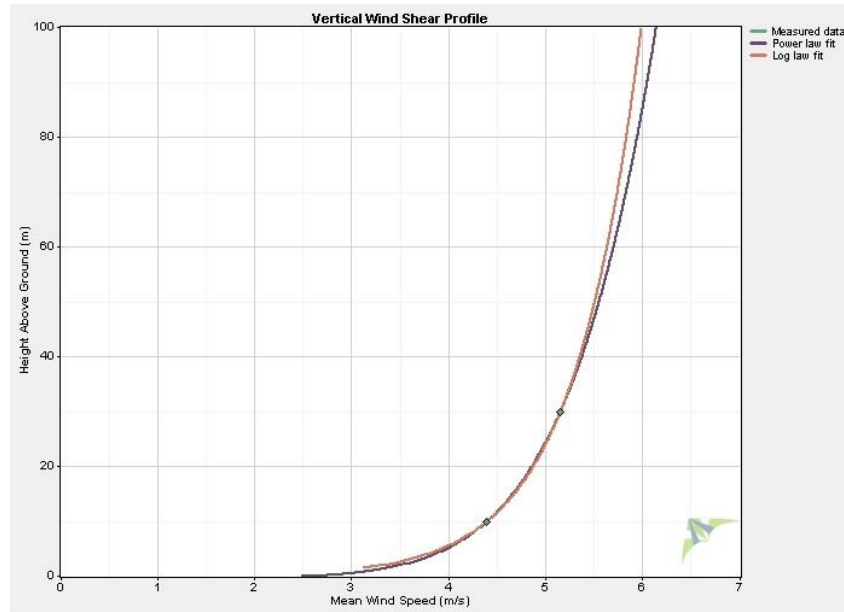


Fig. 7: Profilo verticale di velocità (wind shear)

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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	21 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

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

Nel caso specifico di Macchia Monacilioni, solo per il caso di PC04, MN06 e SE02 è stato possibile applicare le formule citate.

Per gli anemometri MAC03 e MN01, 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: 2006-2016) 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.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	22 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

site name	MAC03-50_4		
filename	MAC03-4		
measurement period	01.01.01 - 01.07.17	# records = 6025	
position	x = 487864.0	y = 4606433.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 2.10	A = 7.36	average = 6.72

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

Frequency distribution
 ◀ ▶ Sector: all Sectors

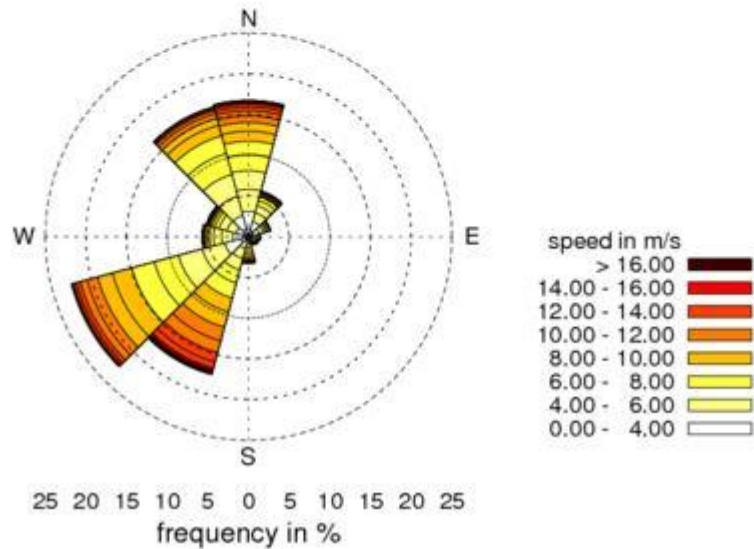


Fig.8: Tabella di frequenze MAC-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	23 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

filename	6379MN01-50-3		
measurement period	04.01.08 - 27.08.15	# records =	62003
position	x = 487423.0	y = 4606560.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.63	A = 6.89	average = 6.07

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors

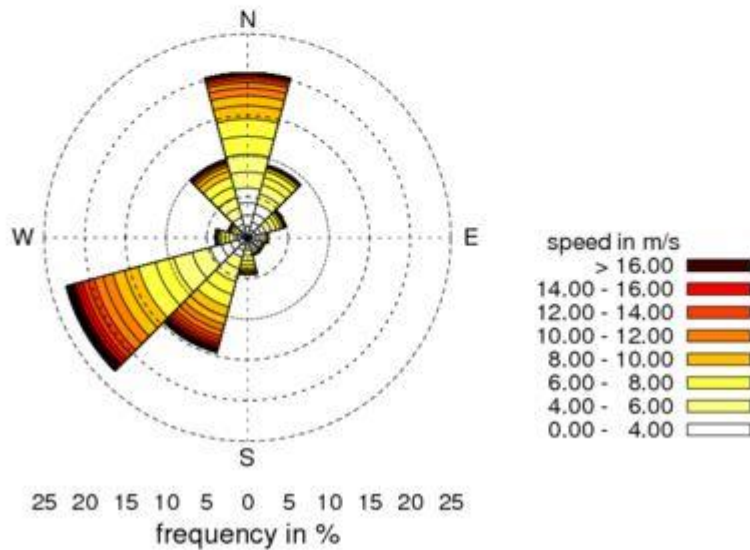


Fig. 9: Tabella di frequenze MN01-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	24 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

site name	PC04-50-4		
filename	PC04-50-4		
measurement period	04.01.08 - 02.03.15	# records = 62003	
position	x = 488737.0	y = 4604245.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.52	A = 6.81	average = 5.99

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors

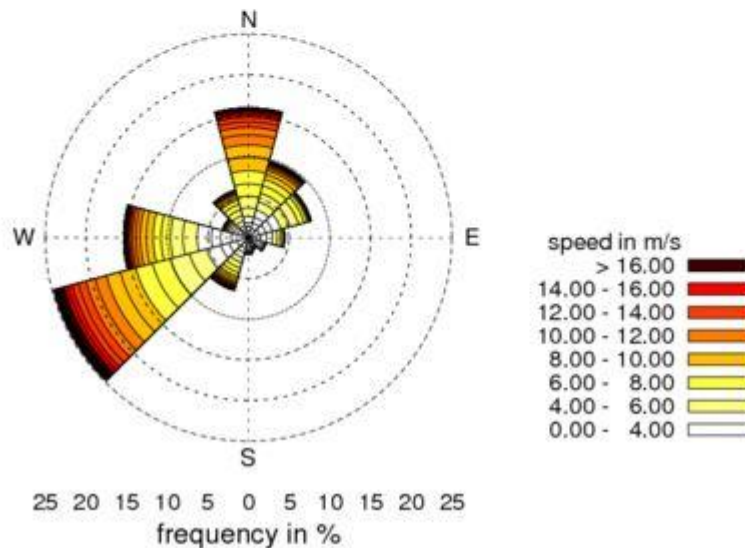


Fig. 10: Tabella di frequenze PC-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	25 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

site name	MN06-50-3		
filename	MN06-50-3		
measurement period	04.01.08 - 02.03.15	# records = 62003	
position	x = 485069.0	y = 4608715.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.49	A = 6.47	average = 5.69

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors

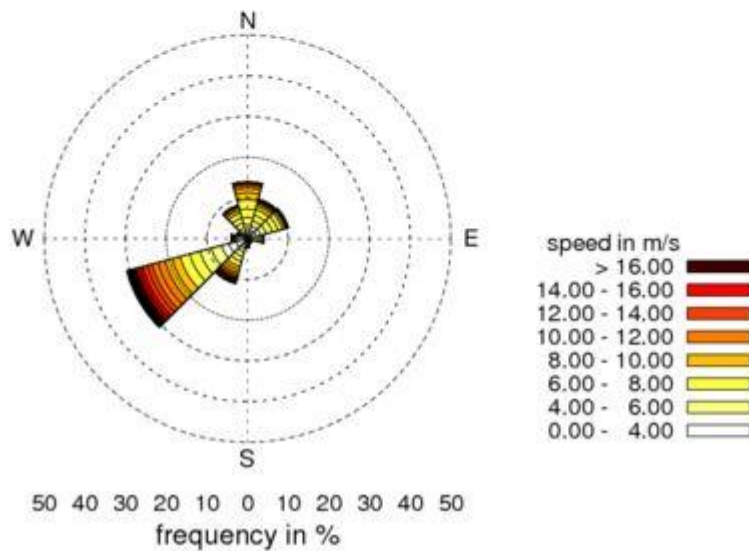


Fig.

Fig. 11: Tabella di frequenze MN06-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	26 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

site name	SE02-50-3		
filename	SE02-50-3		
measurement period	04.01.08 - 27.08.15	# records = 66325	
position	x = 484750.0	y = 4611340.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.67	A = 6.41	average = 5.64

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors

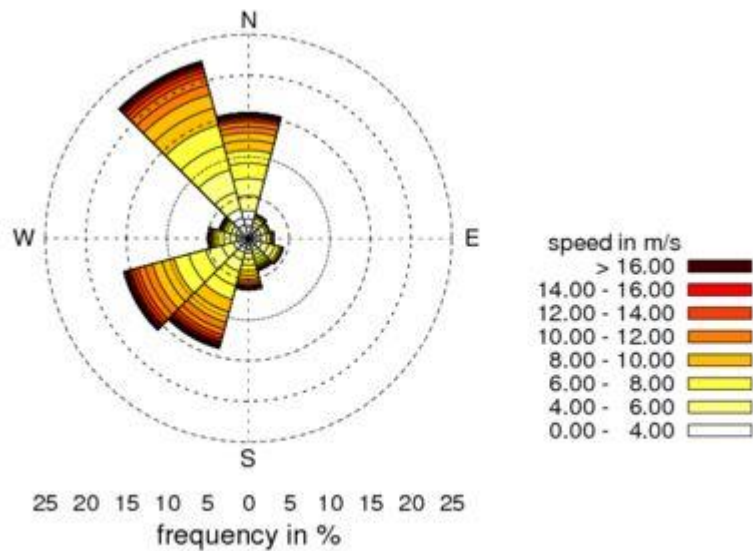


Fig. 12: Tabella di frequenze SE02 -50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFOTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	27 di 51
MAC	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).

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	28 di 51
MAC	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. 795 s.l.m. dell'area d'impianto di Macchia Monacilioni). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media a $\rho = 1,125 \text{ kg/m}^3$

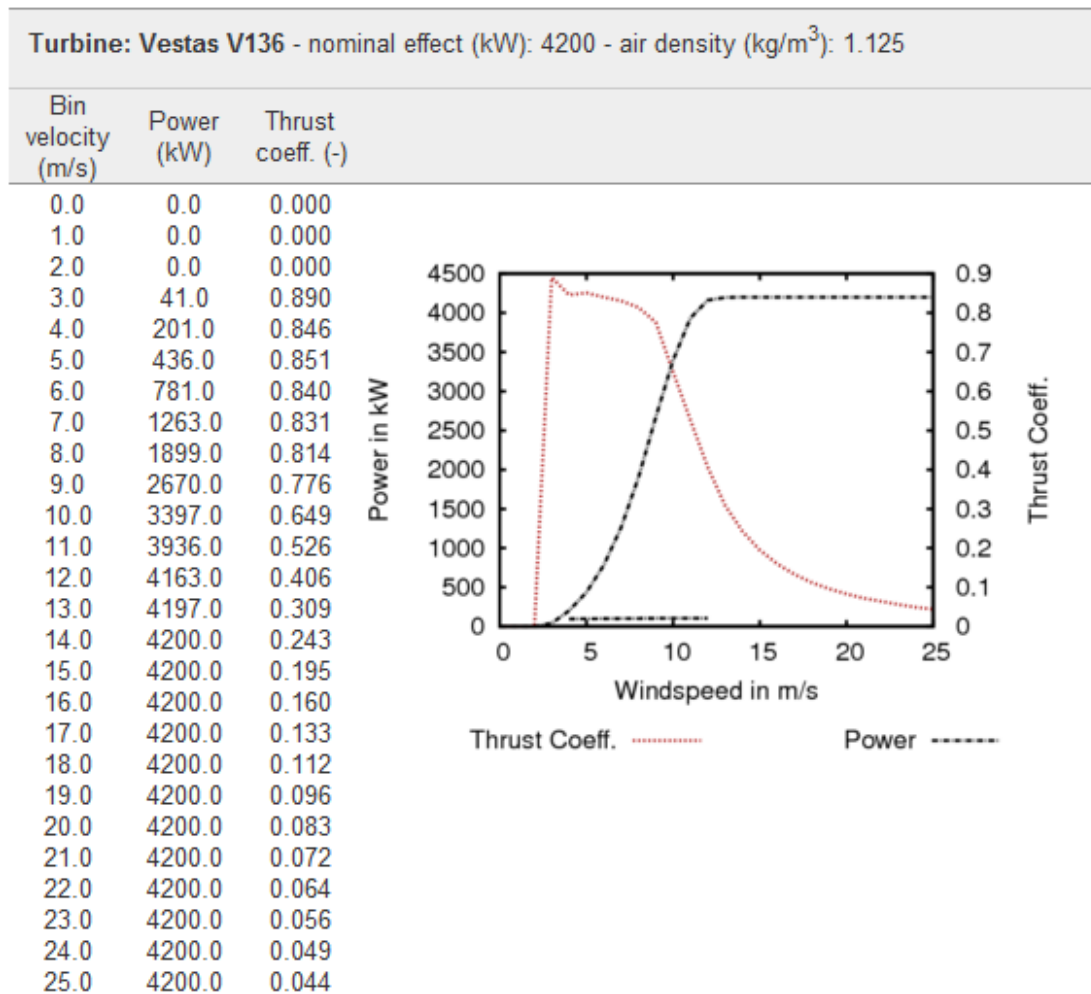


Fig. 13: Aerogeneratore Vestas V136 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	29 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

Turbine: Nordex N131 - nominal effect (kW): 3900 - air density (kg/m³): 1.125

Bin velocity (m/s)	Power (kW)	Thrust coeff. (-)
0.0	0.0	0.000
0.5	0.0	0.000
1.0	0.0	0.000
1.5	0.0	0.000
2.0	0.0	0.000
2.5	0.0	0.000
3.0	14.0	0.908
3.5	78.0	0.900
4.0	165.0	0.890
4.5	275.0	0.880
5.0	408.0	0.870
5.5	564.0	0.860
6.0	764.0	0.854
6.5	959.0	0.852
7.0	1205.0	0.849
7.5	1487.0	0.848
8.0	1807.0	0.846
8.5	2160.0	0.820
9.0	2537.0	0.793
9.5	2927.0	0.751
10.0	3281.0	0.704
10.5	3547.0	0.661
11.0	3730.0	0.570
11.5	3843.0	0.476
12.0	3892.0	0.407
12.5	3900.0	0.345
13.0	3900.0	0.311
13.5	3900.0	0.275
14.0	3900.0	0.245
14.5	3900.0	0.220
15.0	3900.0	0.198
15.5	3900.0	0.180
16.0	3900.0	0.164
16.5	3900.0	0.150
17.0	3900.0	0.137
17.5	3900.0	0.126
18.0	3900.0	0.117
18.5	3900.0	0.108
19.0	3900.0	0.100
19.5	3900.0	0.093
20.0	3900.0	0.087
20.5	3861.0	0.080
21.0	3771.0	0.073
21.5	3592.0	0.066
22.0	3327.0	0.057
22.5	3003.0	0.049
23.0	2906.0	0.044
23.5	2874.0	0.042
24.0	2855.0	0.039
24.5	2835.0	0.037
25.0	2820.0	0.034

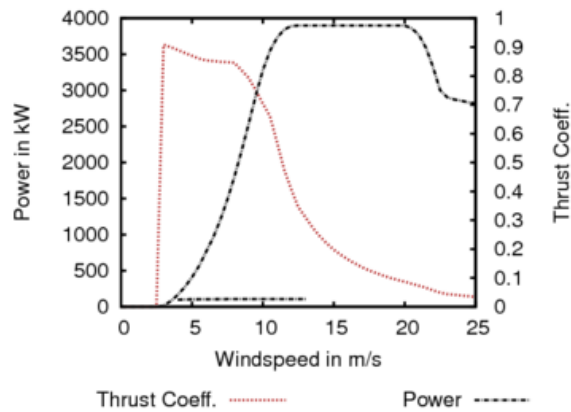


Fig. 14: Aerogeneratore Nordex N131 3.9 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	30 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

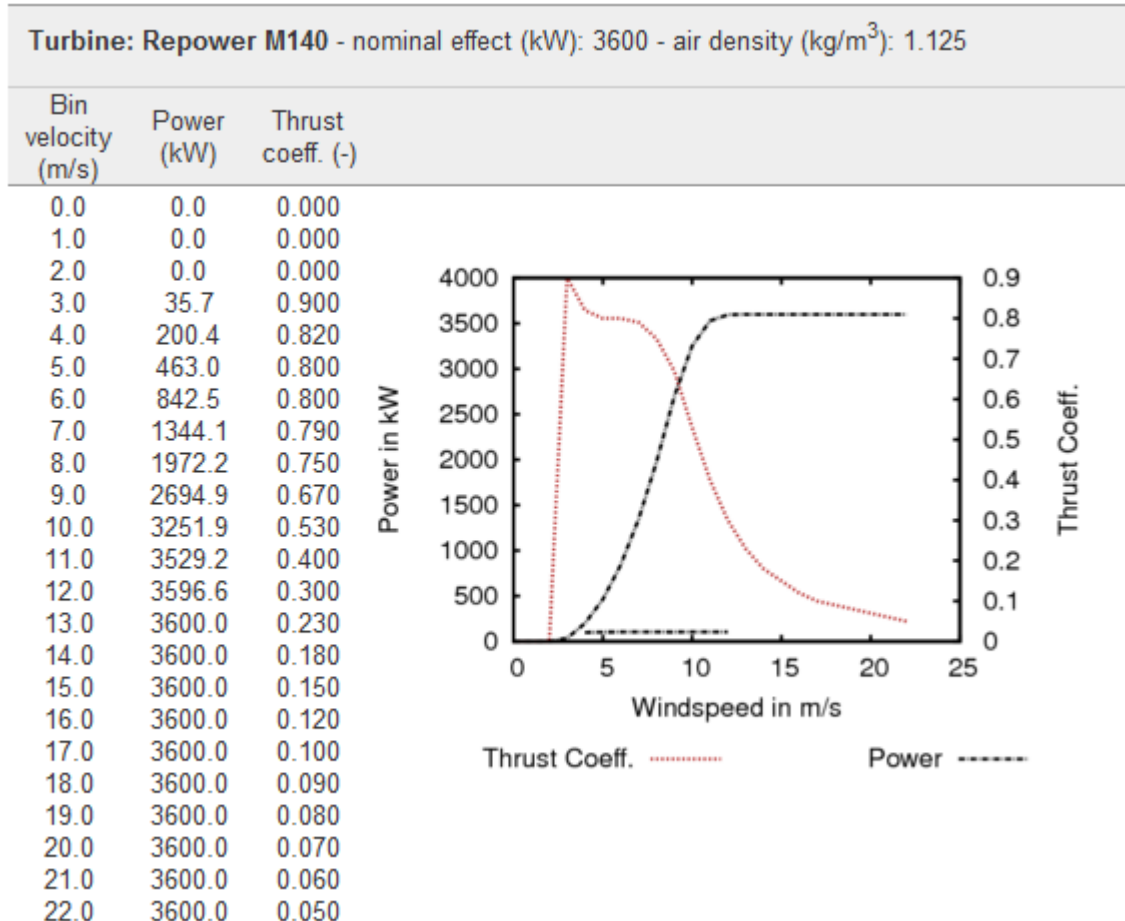


Fig. 15 Aerogeneratore Senvion M140 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	31 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

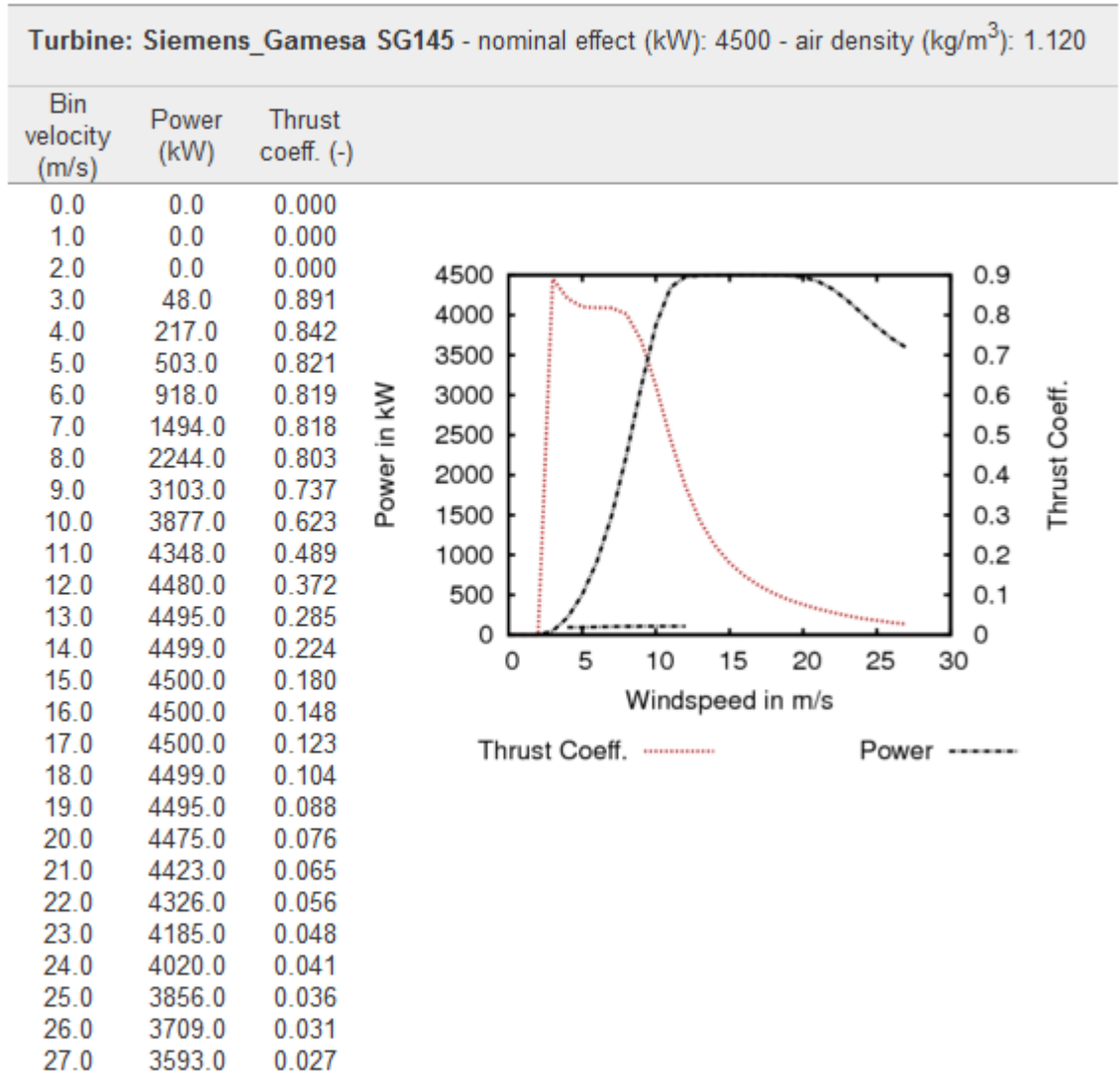


Fig. 16: Aerogeneratore Siemens-Gamesa SG145 4.5 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	32 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

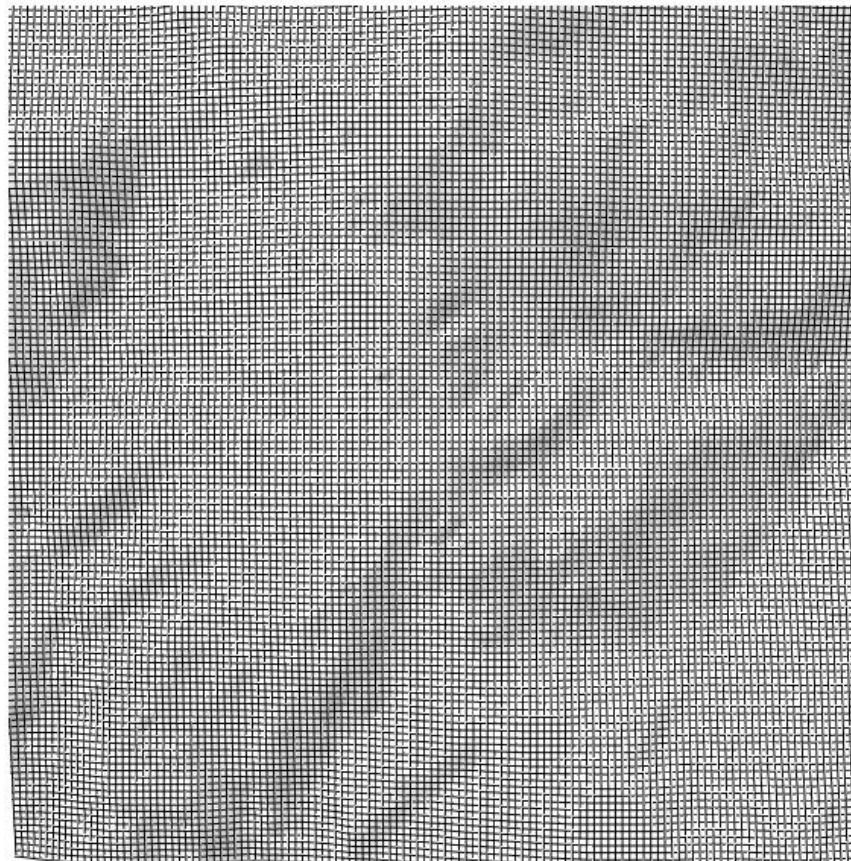
5 APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD

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 dell'area nord:

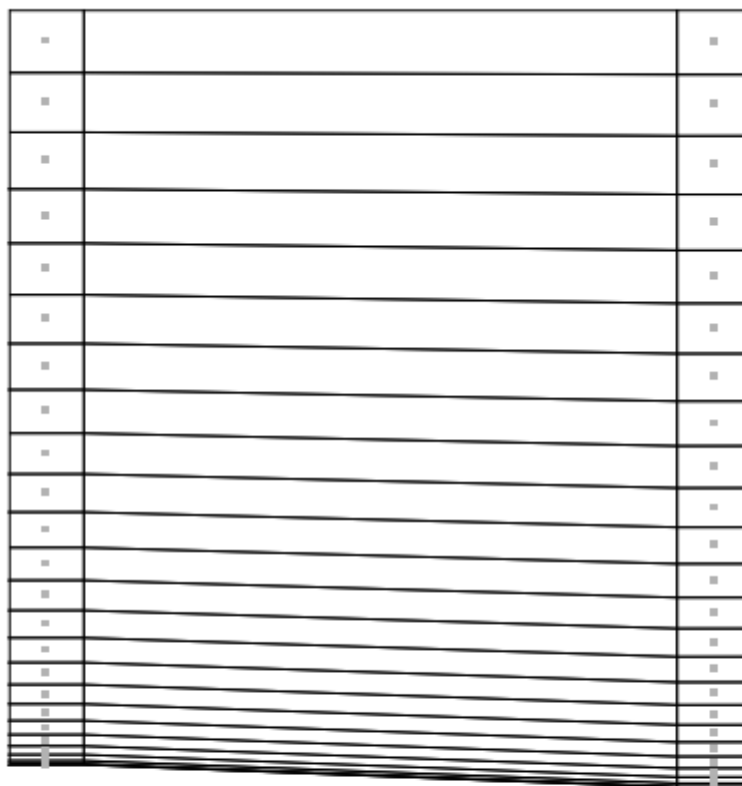


	x	y	z	total
Grid spacing (m)	36.0	36.0	Variable	-
Number of cells	125	126	25	393750

Fig. 17: Mesh orizzontale del dominio di calcolo (area Nord)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
MAC	ENG	REL	0001	0	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	33 di 51

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 dell'area nord dell'impianto):



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-dist. max (m)	1.5	8.6	43.7	126.7	257.7	436.6	663.4	938.2	1260.9	1631.5
z-dist. min (m)	1.5	8.7	44.9	130.4	265.4	449.7	683.4	966.4	1298.9	1680.7

Fig. 18: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	34 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

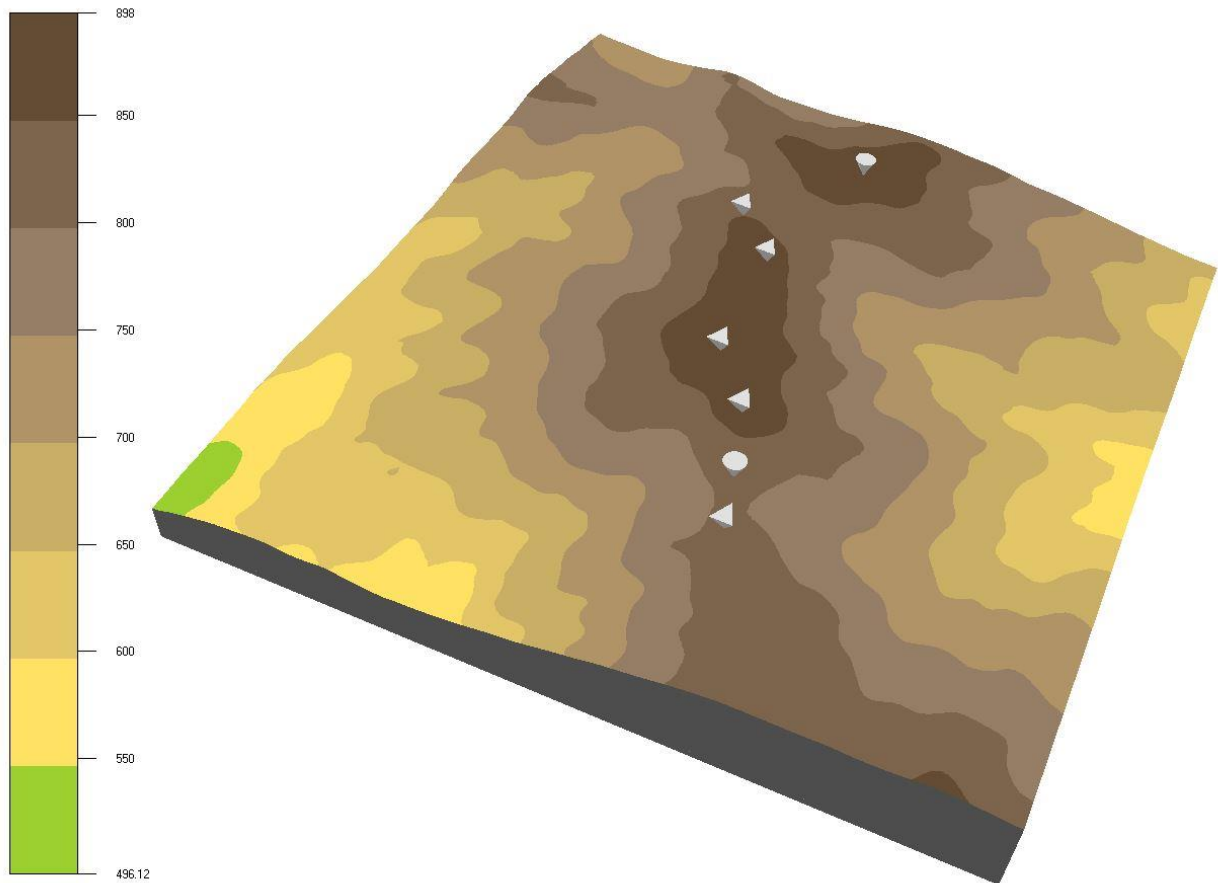


Fig. 19: Mappa 3D area di sito settentrionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	35 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

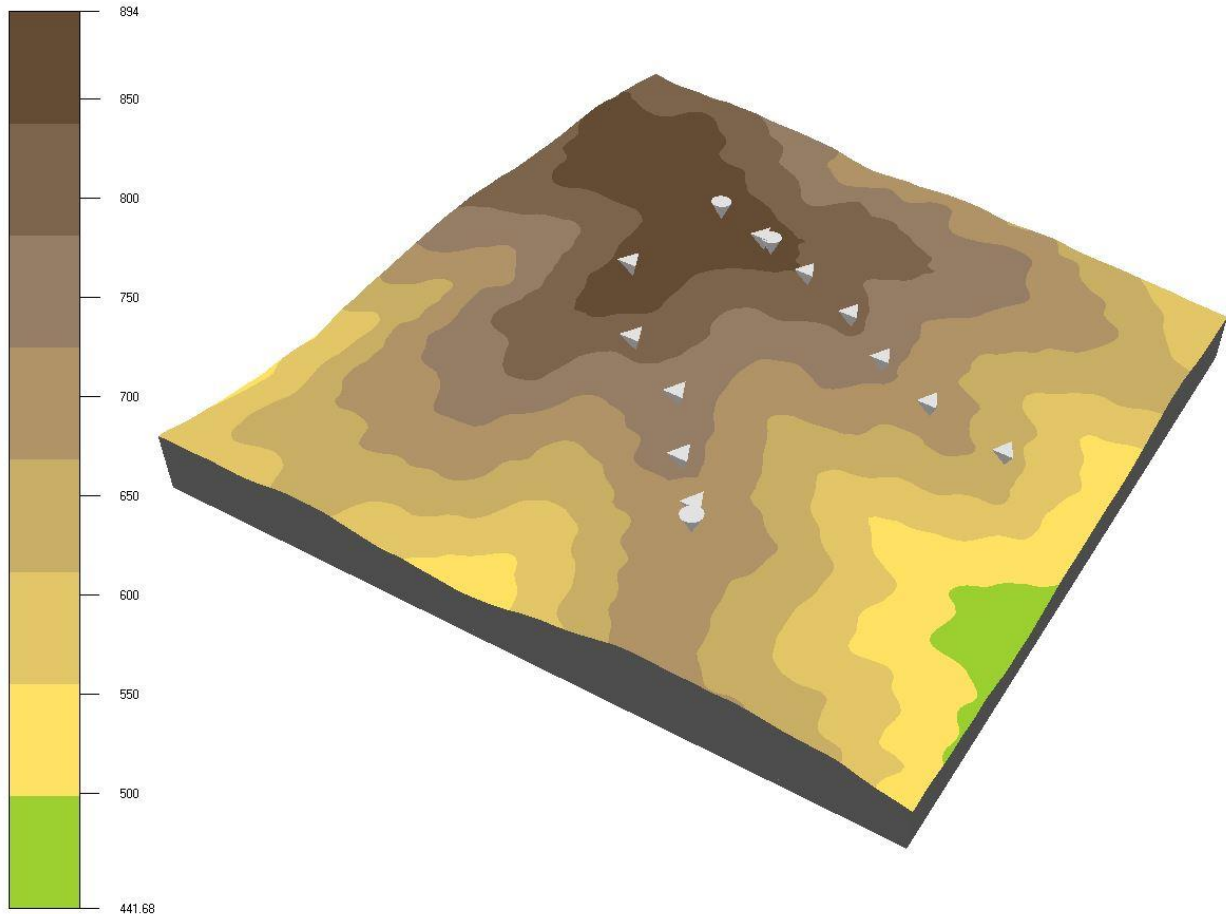


Fig. 20: Mappa 3D area di sito meridionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	36 di 51
MAC	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, parte settentrionale.

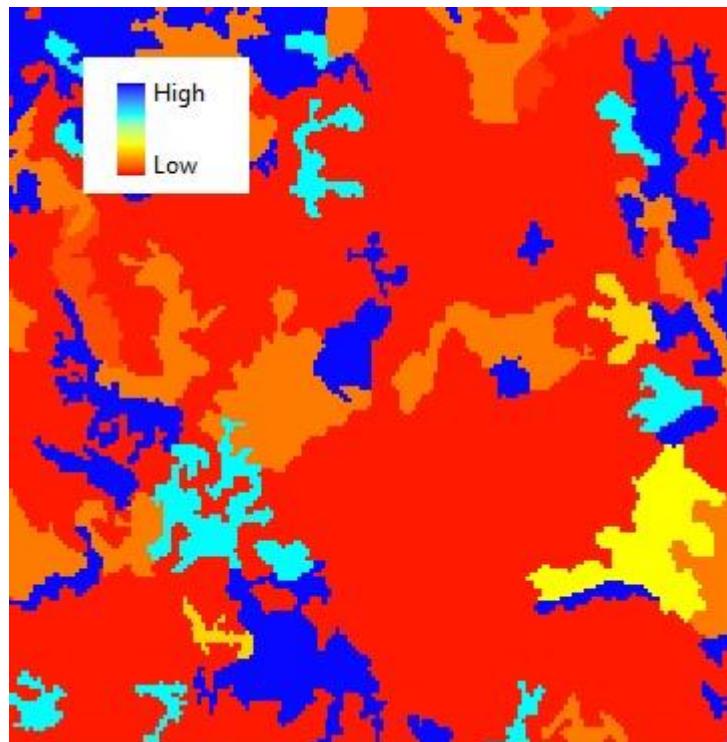


Fig. 21: Mappa di rugosità del sito settentrionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	37 di 51
MAC	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).

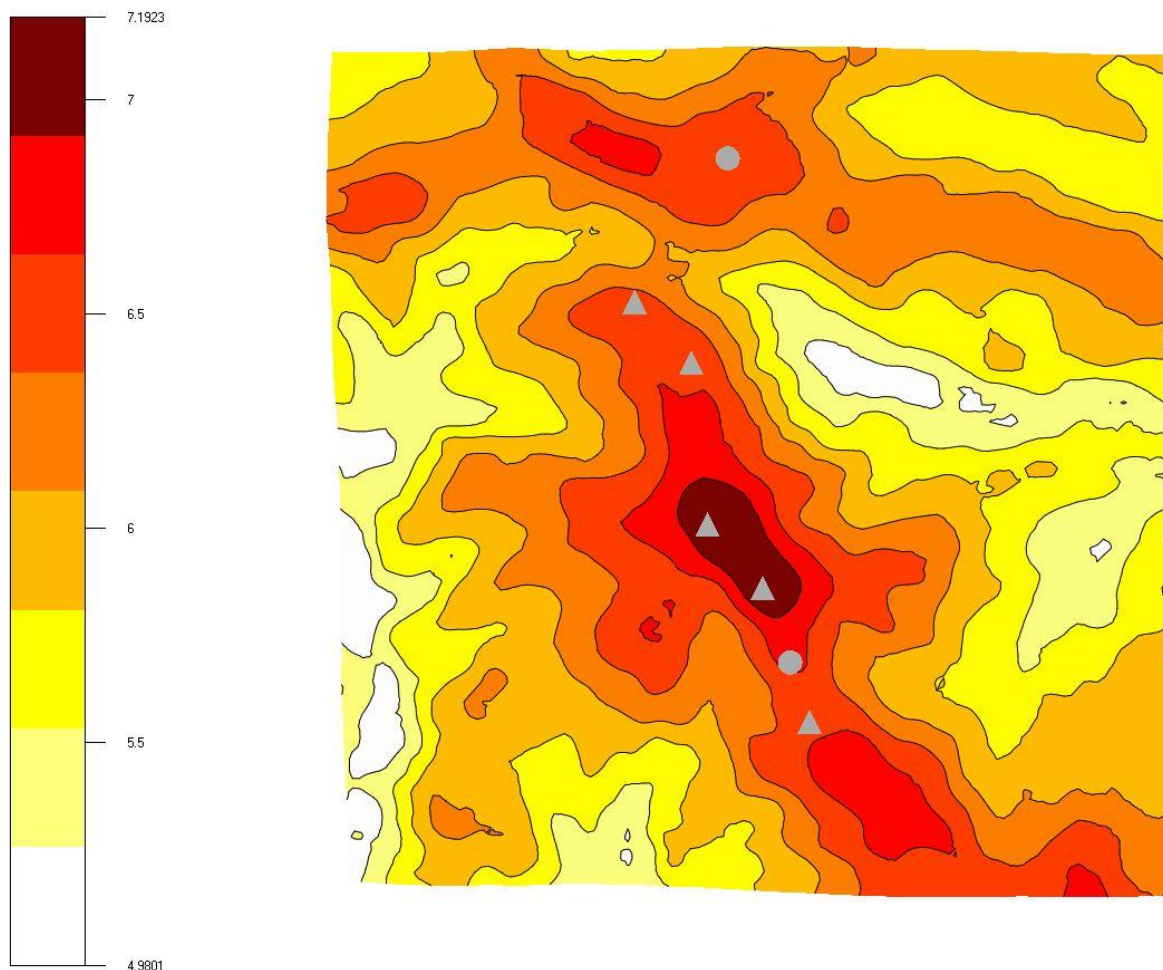


Fig. 22: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s. area sito settentrionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	38 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

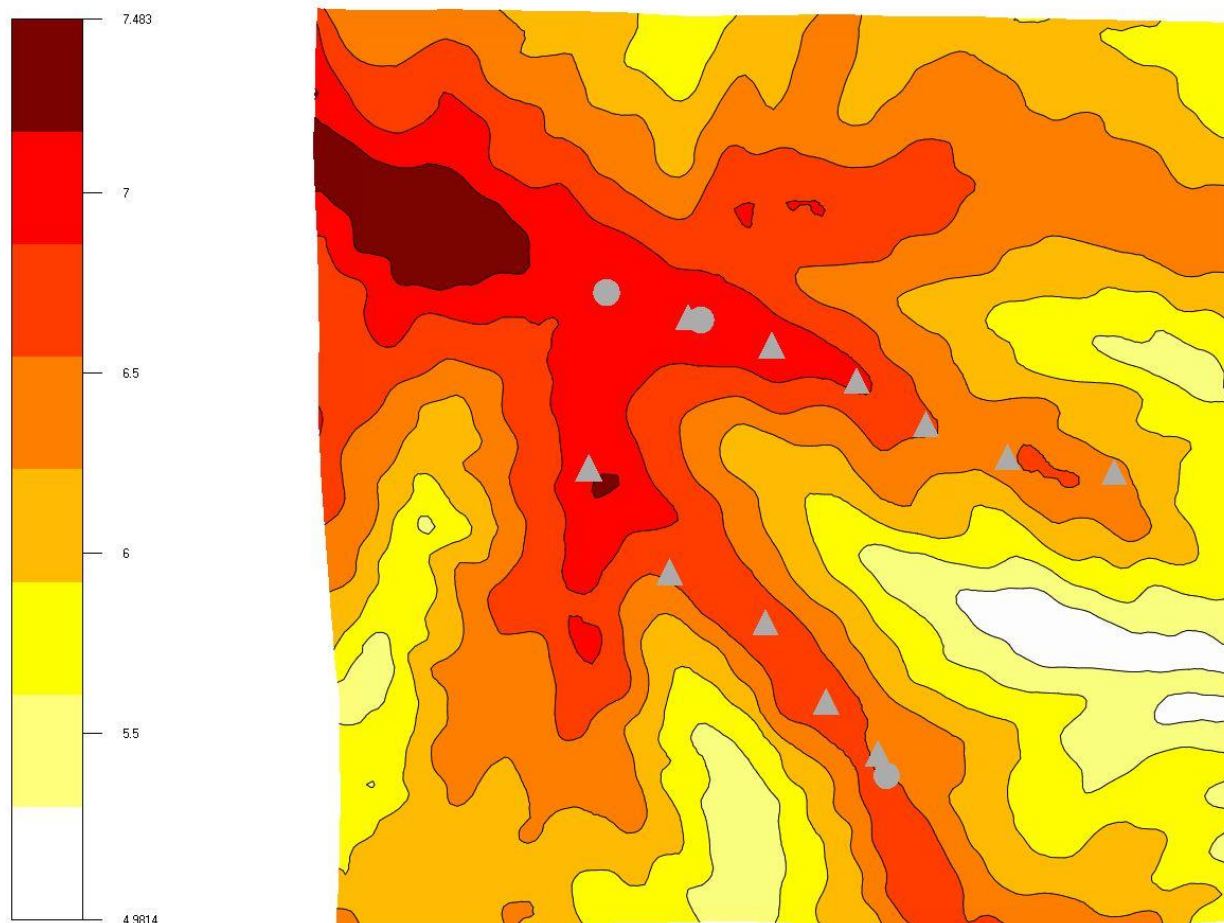


Fig. 23: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s. area sito meridionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	39 di 51
MAC	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:

	V136	N131	M140	SG145
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	207607	195445	213331	232443

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					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MN01	6,49	12310	6,46	12215	0,8%
R-MN02	6,54	12358	6,33	11630	5,9%
R-MN03	7,18	14152	7,07	13664	3,4%
R-MN04	7,00	13538	6,87	13037	3,7%
R-MN05	6,54	12146	6,47	11914	1,9%
R-PC01	7,16	14067	7,09	13808	1,8%
R-PC02	6,70	12750	6,51	12068	5,4%
R-PC03	6,80	13132	6,65	12638	3,8%
R-PC04	6,68	12948	6,50	12258	5,3%
R-PC05	6,52	12599	6,41	12193	3,2%
R-MC01	7,20	14143	7,07	13634	3,6%
R-MC02	7,01	13617	6,81	12917	5,1%
R-MC03	6,90	13361	6,72	12693	5,0%
R-MC04	6,58	12436	6,40	11806	5,1%
R-MC05	6,50	12259	6,29	11513	6,1%
R-MC06	6,33	11792	6,19	11318	4,0%
Media	6,76	12975	6,62	12457	4,0%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	40 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

N131					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MN01	6,50	11599	6,47	11505	0,8%
R-MN02	6,55	11639	6,34	10896	6,4%
R-MN03	7,19	13255	7,07	12793	3,5%
R-MN04	7,01	12707	6,88	12220	3,8%
R-MN05	6,55	11404	6,51	11236	1,5%
R-PC01	7,17	13257	7,10	13006	1,9%
R-PC02	6,71	12029	6,52	11358	5,6%
R-PC03	6,80	12353	6,66	11859	4,0%
R-PC04	6,69	12166	6,50	11502	5,5%
R-PC05	6,53	11836	6,42	11439	3,4%
R-MC01	7,22	13353	7,07	12823	4,0%
R-MC02	7,02	12837	6,82	12144	5,4%
R-MC03	6,91	12583	6,72	11936	5,1%
R-MC04	6,59	11731	6,41	11125	5,2%
R-MC05	6,51	11559	6,30	10845	6,2%
R-MC06	6,34	11137	6,20	10678	4,1%
Media	6,77	12215	6,62	11710	4,1%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	41 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

M140					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MN01	6,48	12651	6,45	12556	0,7%
R-MN02	6,52	12685	6,33	11956	5,8%
R-MN03	7,18	14488	7,07	14011	3,3%
R-MN04	6,99	13862	6,87	13363	3,6%
R-MN05	6,52	12434	6,46	12201	1,9%
R-PC01	7,15	14467	7,08	14209	1,8%
R-PC02	6,68	13109	6,50	12422	5,2%
R-PC03	6,79	13499	6,65	13006	3,7%
R-PC04	6,68	13290	6,50	12604	5,2%
R-PC05	6,51	12926	6,41	12514	3,2%
R-MC01	7,19	14592	7,06	14088	3,5%
R-MC02	7,00	14031	6,81	13337	4,9%
R-MC03	6,90	13756	6,72	13096	4,8%
R-MC04	6,57	12793	6,39	12158	5,0%
R-MC05	6,49	12616	6,29	11874	5,9%
R-MC06	6,31	12132	6,18	11650	4,0%
Media	6,75	13333	6,61	12815	3,9%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	42 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

SG145					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MN01	6,45	13786	6,42	13680	0,8%
R-MN02	6,50	13827	6,30	13017	5,9%
R-MN03	7,16	15829	7,03	15274	3,5%
R-MN04	6,96	15139	6,83	14586	3,7%
R-MN05	6,48	13555	6,41	13291	1,9%
R-PC01	7,13	15764	7,06	15465	1,9%
R-PC02	6,66	14263	6,45	13418	5,9%
R-PC03	6,77	14710	6,63	14143	3,9%
R-PC04	6,66	14470	6,47	13690	5,4%
R-PC05	6,49	14065	6,38	13577	3,5%
R-MC01	7,17	15900	7,04	15337	3,5%
R-MC02	6,98	15286	6,76	14422	5,7%
R-MC03	6,88	14994	6,67	14161	5,6%
R-MC04	6,54	13923	6,36	13202	5,2%
R-MC05	6,47	13738	6,26	12890	6,2%
R-MC06	6,29	13197	6,13	12592	4,6%
Media	6,72	14528	6,58	13921	4,2%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	43 di 51
MAC	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, P50. Le perdite esterne, oltre alle perdite per effetto scia di cui si è già parlato in precedenza, vengono suddivise in:

Monacilioni-Pietracatella	
Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3,00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	5,00%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)*	2,00%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	1,60%
Perdite dovute al rumore	1,00%
Totale perdite escluso scie**	12,03%
*1.5% per SG145	
**11.58% per SG145	

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	44 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

Macchia	
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)*	2,00%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	1,60%
Perdite dovute al rumore	1.00%
Totale perdite escluso scie**	10,17%
*1.5% per SG145	
**9.72% per SG145	

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

	V136	N131	M140	SG145
Produzione netta WTG (*) - P50 (MWh/anno)	11044	10383	11362	12406

(*) la produzione netta WTG è stata calcolato come la media delle produzioni medie delle due diverse UP (Macchia e Monacilioni-Pietracatella-S.Elia)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	45 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

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

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

V136	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MN01	6,49	2558
R-MN02	6,54	2436
R-MN03	7,18	2862
R-MN04	7,00	2731
R-MN05	6,54	2495
R-PC01	7,16	2892
R-PC02	6,70	2528
R-PC03	6,80	2647
R-PC04	6,68	2568
R-PC05	6,52	2554
R-MC01	7,20	2916
R-MC02	7,01	2763
R-MC03	6,90	2715
R-MC04	6,58	2525
R-MC05	6,50	2462
R-MC06	6,33	2420
Media	6,76	2630

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	46 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MN01	6,50	2595
R-MN02	6,55	2458
R-MN03	7,19	2886
R-MN04	7,01	2757
R-MN05	6,55	2534
R-PC01	7,17	2934
R-PC02	6,71	2562
R-PC03	6,80	2675
R-PC04	6,69	2595
R-PC05	6,53	2580
R-MC01	7,22	2954
R-MC02	7,02	2797
R-MC03	6,91	2749
R-MC04	6,59	2562
R-MC05	6,51	2498
R-MC06	6,34	2459
Media	6,77	2662

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	47 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

M140	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MN01	6,48	2630
R-MN02	6,52	2504
R-MN03	7,18	2935
R-MN04	6,99	2799
R-MN05	6,52	2556
R-PC01	7,15	2976
R-PC02	6,68	2602
R-PC03	6,79	2724
R-PC04	6,68	2640
R-PC05	6,51	2621
R-MC01	7,19	3013
R-MC02	7,00	2852
R-MC03	6,90	2801
R-MC04	6,57	2600
R-MC05	6,49	2539
R-MC06	6,31	2492
Media	6,75	2705

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	48 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

SG145	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MN01	6,45	2688
R-MN02	6,50	2558
R-MN03	7,16	3001
R-MN04	6,96	2866
R-MN05	6,48	2612
R-PC01	7,13	3039
R-PC02	6,66	2636
R-PC03	6,77	2779
R-PC04	6,66	2690
R-PC05	6,49	2668
R-MC01	7,17	3077
R-MC02	6,98	2894
R-MC03	6,88	2841
R-MC04	6,54	2649
R-MC05	6,47	2586
R-MC06	6,29	2526
Media	6,72	2757

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	49 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

Moltiplicando la produzione media netta a WTG delle rispettive UP (Macchia e Monacilioni-Pietraccatella-S.Elia) per il numero di WTG dell'impianto si ottiene la stima P50 della produzione netta dell'impianto:

$$Prod_{netta_tot} = Prod_{netta_WTG} \times N_{WTG}$$

	V136
Numero WTG	16
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	176703
	N131
Numero WTG	16
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	166121
	M140
Numero WTG	16
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	181795
	SG145
Numero WTG	16
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	198491

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	50 di 51
MAC	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:

Monacilioni	V136	N131	M140	SG145
incertezza sulla storicizzazione del sito	5,5%	5,5%	5,5%	5,5%
incertezza sul processo di micrositing	8,8%	9,0%	8,7%	8,5%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Incetenza complessiva	11,5%	11,7%	11,4%	11,3%

Pietracatella	V136	N131	M140	SG145
incertezza sulla storicizzazione del sito	5,5%	5,5%	5,5%	5,5%
incertezza sul processo di micrositing	11,9%	12,0%	11,7%	11,5%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Incetenza complessiva	14,0%	14,1%	13,8%	13,6%

Macchia	V136	N131	M140	SG145
incertezza sulla storicizzazione del sito	5,5%	5,5%	5,5%	5,5%
incertezza sul processo di micrositing	16,4%	15,7%	16,1%	15,7%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Incetenza complessiva	18,0%	17,3%	17,7%	17,4%

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	MACCHINA VALFORTORE – MONACILIONI- PIETRACATELLA-S.ELIA (PZ) Studio Anemologico Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	51 di 51
MAC	ENG	REL	0001	0		

V136		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	176,7	2630
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	167,2	2487
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	156,5	2329
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	138,3	2058

N131		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	166,1	2662
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	157,0	2516
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	146,9	2353
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	129,5	2075

M140		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	181,8	2705
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	172,1	2561
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	161,3	2400
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	142,9	2126

SG145		
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	198,5	2757
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	188,1	2613
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	176,5	2452
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	156,8	2178