

REGIONI PUGLIA e CAMPANIA

Province di Foggia e Avellino

COMUNI DI Greci (AV) – Montaguto (AV) – Faeto (FG) –
Celle di San Vito (FG) – Orsara (FG)-Castelluccio
Valmaggiore (FG) – Troia (FG)

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO GRECI-MONTAGUTO



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

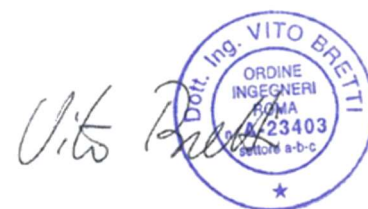
ERG Wind 4



PROGETTISTA:



GOLDER
Via Sante Bargellini, 4
00157 - Roma (RM)



OGGETTO DELL'ELABORATO:

VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	04/2019	/	1 di 55	A4	GRE	ENG	REL	0028	00

NOME FILE: GRE.ENG.REL.0028.00_Valutazione risorsa eolica.doc

ERG Wind 4 2 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	04/2019	PRIMA EMISSIONE	ERG	ERG	VBR

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	3 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	RAPPRESENTAZIONE DEL SITO	6
2.1	Descrizione del sito	6
2.2	Layout Greci	9
2.3	Layout Montaguto	9
2.4	Aerogeneratori adottati Greci	10
2.5	Aerogeneratori adottati Montaguto	14
2.6	Allacciamento alla rete elettrica	17
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	18
3.1	Strumenti utilizzati	18
3.2	Raccolta dei dati e validazione	20
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	21
4	CURVA DI POTENZA	31
4.1	Aerogeneratori Greci	31
4.2	Aerogeneratori Montaguto	35
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	38
5.1	Il modello digitale del terreno	38
5.2	La rugosità	42
5.3	La risorsa eolica	44
5.4	Risultati del modello Greci	46
5.5	Risultati del modello Montaguto	48
6	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE GRECI	49
7	ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE MONTAGUTO	53

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	4 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1: Inquadramento del sito.....	6
Figura 2: Inquadramento del sito con suddivisione in quattro aree (Greci Nord in nero, Greci Sud in azzurro, Maschito in rosso)	7
Figura 3: Inquadramento del sito, Greci Nord, vista da Sud	7
Figura 4: Inquadramento del sito, Greci Sud, vista da Sud.....	8
Figura 5: Inquadramento del sito, Maschito, vista da Sud	8
Figura 6: Stazioni di misura in sito, Greci	18
Figura 7: Stazioni di misura in sito: Montaguto.....	19
Figura 8: Validazione anemometro	20
Figura 9: Profilo giornaliero di velocità – GR10	21
Figura 10: Profilo mensile di velocità – GR10.....	22
Figura 11: Profilo verticale di velocità (wind shear)	23
Figura 12: Tabella di frequenze GR03-50m	25
Figura 13: Tabella di frequenze GR10-50m	26
Figura 14: Tabella di frequenze GR11-50m	27
Figura 15: Tabella di frequenze MA01-50m	28
Figura 16: Tabella di frequenze MA04-50m	29
Figura 17: Aerogeneratore Siemens-Gamesa SG145 4.5.....	31
Figura 18: Aerogeneratore Nordex N131 3.9 MW	32
Figura 19: Aerogeneratore Senvion M140 4.2 MW	33
Figura 20: Aerogeneratore Vestas V136 4.2 MW	34
Figura 21: Aerogeneratore Senvion M114 3.6 MW	35
Figura 22: Aerogeneratore Nordex N117 3.6 MW	36
Figura 23: Aerogeneratore Vestas V117 4.2 MW	37
Figura 24: Discretizzazione orizzontale del dominio di calcolo (Montaguto)	38
Figura 25: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo (Montaguto)	39
Figura 26: Mappa 3D del sito di Greci	40
Figura 27: Mappa 3D area del sito di Montaguto.....	41
Figura 29: Mappa di rugosità di Greci	43
Figura 30: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s., Greci.....	44
Figura 31: Mappa di ventosità a 91 m s.l.s., Montaguto	45

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	5 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	6 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente è situato in provincia di Avellino e si sviluppa sul territorio dei due comuni di Greci e Montaguto. In area di Greci sono installate 22 macchine Vestas V47 da 660 kW, mentre nel comune di Montaguto sono presenti 10 macchine Vestas V47 da 660 kW, per un totale di 32 macchine.

Il nuovo layout ripotenziato si sviluppa nell'area del parco già esistente e prevede un numero totale di 10 aerogeneratori multi-megawatt.

L'unità produttiva si può suddividere geograficamente in tre zone. Un'area Nord situata nel territorio comunale di Greci, a ridosso del confine con la provincia di Foggia, un'area Sud, situata nel territorio comunale di Greci, situata a Nord dell'omonima cittadina, ed un'area situata all'interno del territorio di Montaguto.

La parte d'impianto Nord (Figura 3) situata nel comune di Greci si estende su tre crinali paralleli, e copre un'area di circa 1.5 km Est-Ovest per 1.1 km Nord-Sud, a circa 3.5 km di distanza dal comune di Greci. L'area d'impianto Sud (Figura 4) di Greci si estende su un unico crinale di circa 1 km di lunghezza situato a 500 metri Nord-Ovest dal paese di Greci. L'area d'impianto situata nel comune di Montaguto (Figura 5) si estende su un crinale per circa un km di lunghezza, a circa 1.6 km di distanza in direzione Nord-Ovest dalla cittadina di Montaguto.

Alcune parti dell'area d'impianto sono caratterizzate dalla presenza di zone boschive costituite prevalentemente da alberi di 10 metri circa di altezza.

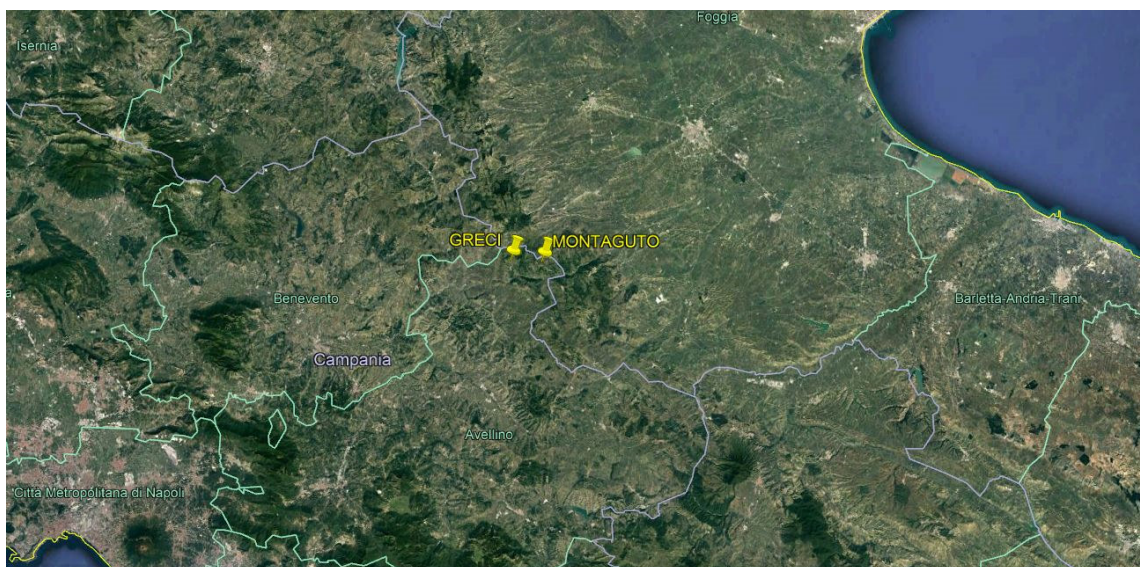


Figura 1: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	7 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

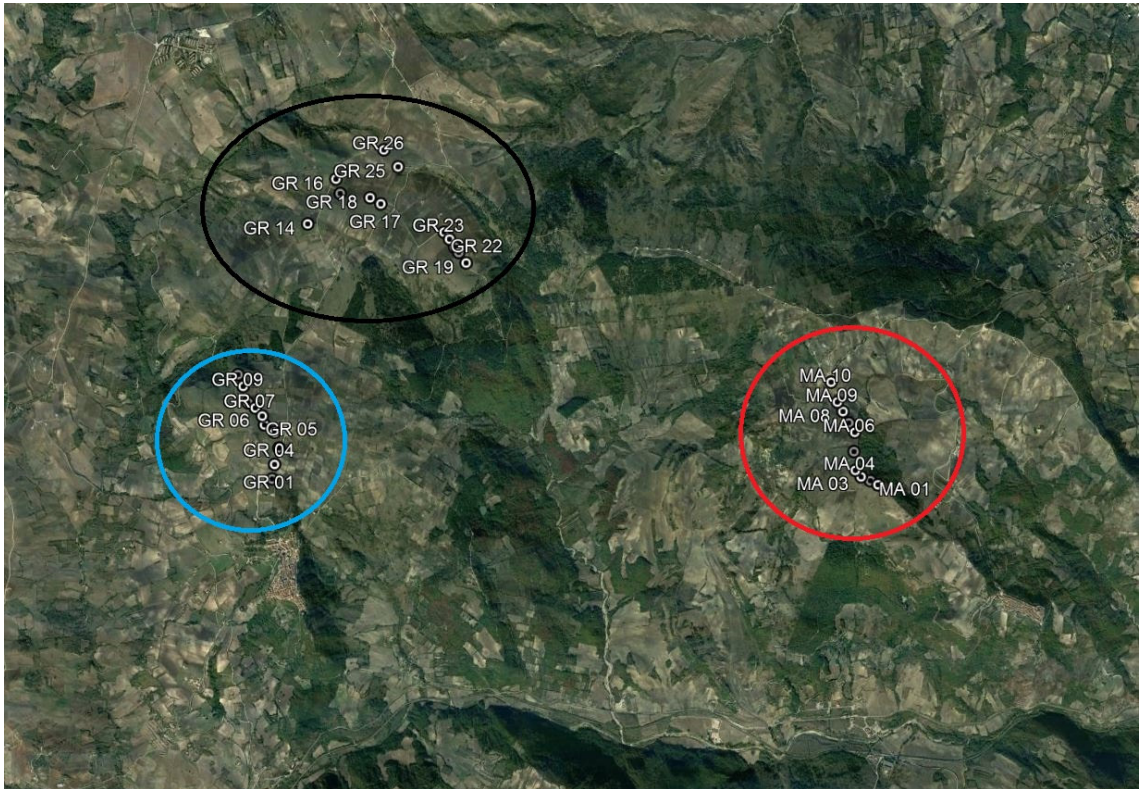


Figura 2: Inquadramento del sito con suddivisione in quattro aree (Greci Nord in nero, Greci Sud in azzurro, Montaguto in rosso)



Figura 3: Inquadramento del sito, Greci Nord, vista da Sud

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	8 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		



Figura 4: Inquadramento del sito, Greci Sud, vista da Sud

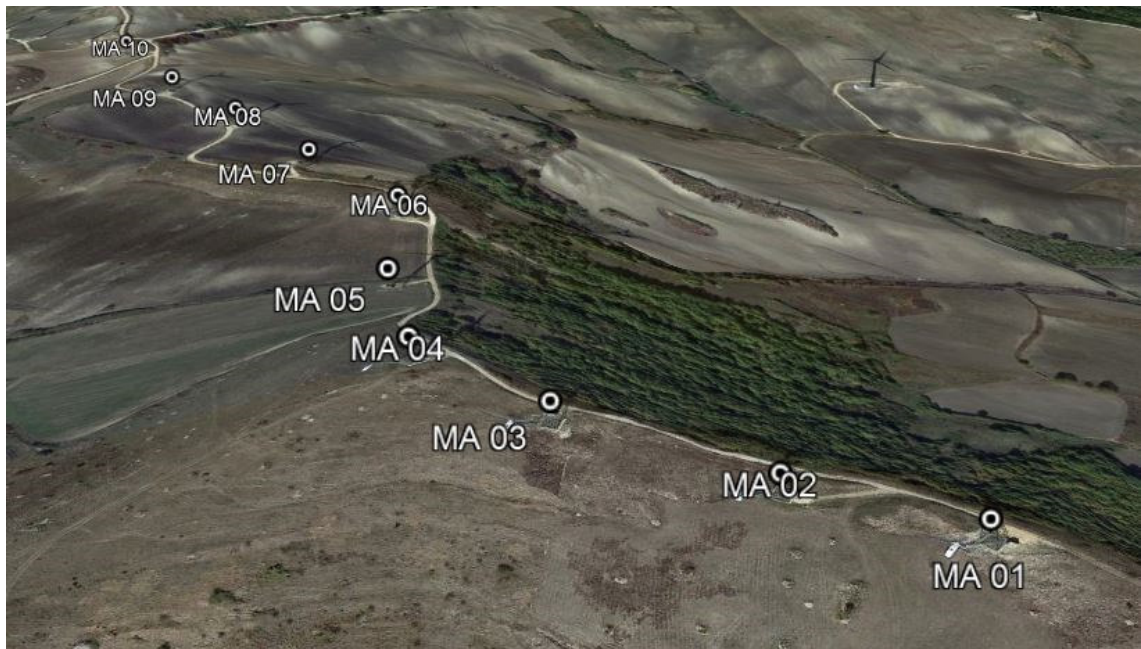


Figura 5: Inquadramento del sito, Montaguto, vista da Sud

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	9 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

2.2 Layout Greci

Il nuovo layout di impianto è composto da N. 10 aerogeneratori, di cui 6 saranno dislocati nel territorio comunale di Greci.

Gli aerogeneratori (esistenti e anche quelli futuri) situati nel comune di Greci sono disposti in 2 aree separate come mostrato in Figura 2.

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG	E	N	
R-GR01	514131	4567801	909.2
R-GR02	513976	4568167	907.5
R-GR03	513779	4568528	856.6
R-GR04	514567	4570208	887.6
R-GR05	515005	4570139	900.3
R-GR06	515776	4569633	908.5

2.3 Layout Montaguto

I restanti 4 aerogeneratori saranno installati nel comune di Montaguto, all'interno di una sola area (Figura 2).

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
WTG	E	N	
R-MA02	520036	4567033	826.5
R-MA03	519438	4567588	902.9
R-MA04	519405	4567933	899.1
R-MA05	519257	4568229	900.1

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	10 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

2.4 Aerogeneratori adottati Greci

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

Modello	V136
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
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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	11 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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
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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	12 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

Il terzo generato considerato è la Senvion M140 la cui curva di potenza è riportata di seguito alla densità media di sito.

Modello	M140
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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	13 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

Il quarto generatore considerato è la SG145, la cui curva di potenza è riportata di seguito alla densità media di sito.

Modello	SG145
Produttore	Siemens
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

Per un ulteriore approfondimento delle curve utilizzate nel software con cui è stata effettuata l'analisi fluidodinamica si rimanda al capitolo 4.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	14 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

2.5 Aerogeneratori adottati Montaguto

Per la stima di producibilità energetica di Montaguto vengono prese in esame quattro diverse tipologie di aerogeneratori, di cui si riportano di seguito le relative caratteristiche e curve di potenza garantite dal costruttore a densità media di sito ($\rho=1.120 \text{ kg/m}^3$).

Di seguito la curva di potenza del primo modello analizzato, Vestas V117, fornita dal costruttore alla densità media di sito:

Modello	V117
Produttore	Vestas
Potenza (MW)	4.2
Diametro (m)	117
Altezza del mozzo (m)	91.5

Velocità del vento (m/s)	V117 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	17
4	134
5	309
6	563
7	921
8	1397
9	2005
10	2701
11	3345
12	3847
13	4121
14	4184
15	4199
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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	15 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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
Produttore	Nordex
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	117
Altezza del mozzo (m)	91

Velocità del vento (m/s)	N117 [$\rho=1.125 \text{ m}^3/\text{kg}$] (kW)
3	12
4	114
5	304
6	570
7	930
8	1404
9	1969
10	2573
11	3111
12	3432
13	3578
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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	16 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

Il terzo aerogeneratore preso in esame è Senvion M114 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	M114
Produttore	Senvion
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	114
Altezza del mozzo (m)	90

Velocità del vento (m/s)	M140 [$\rho=1.120 \text{ m}^3/\text{kg}$] (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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	17 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

2.6 Allacciamento alla rete elettrica

L'impianto di Montaguto è attualmente connesso alla adiacente stazione elettrica di proprietà ERG, situata nel comune di Celle di San Vito in provincia di Foggia. L'ipotesi di progetto prevede il collegamento alla linea AT nel punto dell'attuale SSE, che sarà oggetto di opportuni interventi di ampliamento.

L'impianto di Greci sarà invece connesso alla stazione di Troia, di proprietà Terna, in provincia di Foggia.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	18 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

3 CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Data la vastità del sito, per esigenze tecniche relative alla costruzione del modello fluidodinamico il sito è stato diviso in due parti, una relativa agli aerogeneratori situati a Greci e uno relativo a Montaguto.

3.1 Strumenti utilizzati

Per i dati vento sono stati utilizzati i dataset di velocità del vento registrati dagli anemometri di navicella di 5 turbine appartenenti agli impianti presenti nei siti: 3 in area Greci e 2 in area Montaguto. Siccome sulle navicelle non sono innestati i sensori di direzione, quest'informazione è stata estrapolata dalla torre anemometrica più vicina a ciascuna turbina.

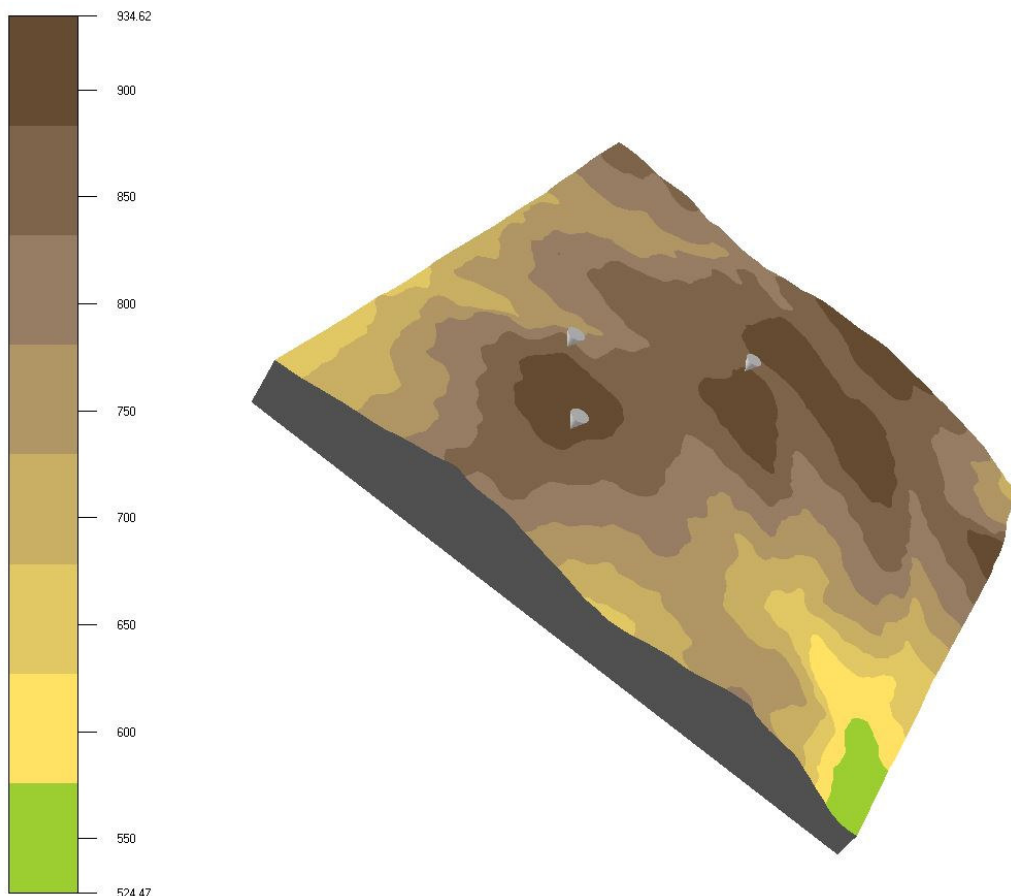


Figura 6: Stazioni di misura in sito, Greci

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	19 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

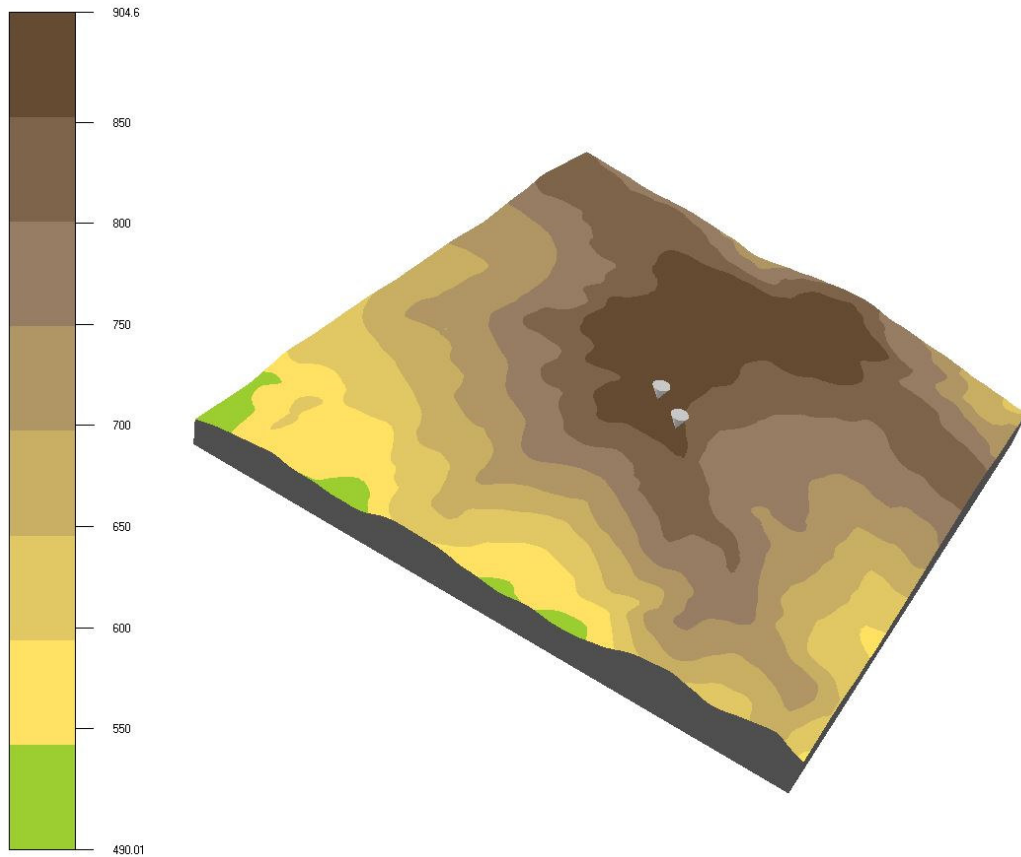


Figura 7: Stazioni di misura in sito: Montaguto

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Quota (m)	Altezza (m)	dal	al
GR03	514184	4567807	906	50	01/01/2003	19/07/2013
GR10	513804	4568470	875	50	01/07/2003	19/07/2013
GR11	514683	4569517	898	50	01/07/2002	19/07/2013
MA01	519628	4567486	892	50	29/06/2005	19/07/2013
MA04	519413	4567617	924	50	29/06/2005	19/07/2013

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	20 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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, un esempio di validazione fatta per una torre.

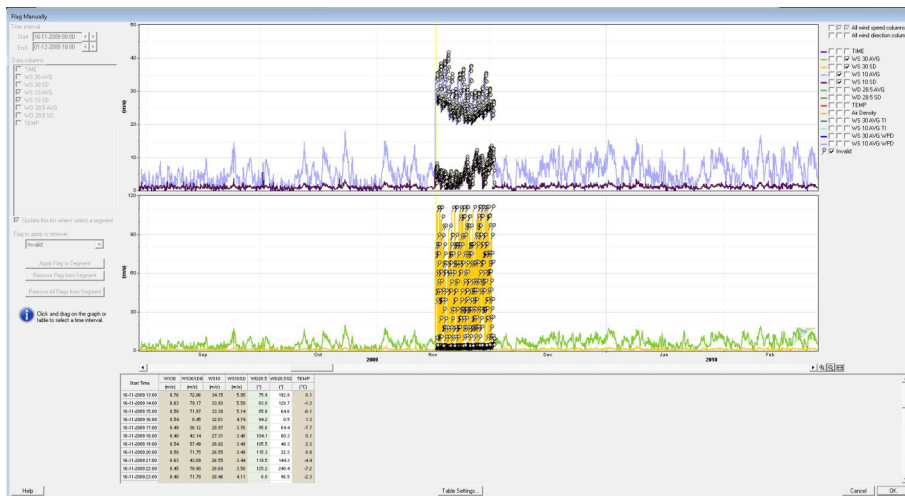


Figura 8: Validazione anemometro

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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	21 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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 turbine.

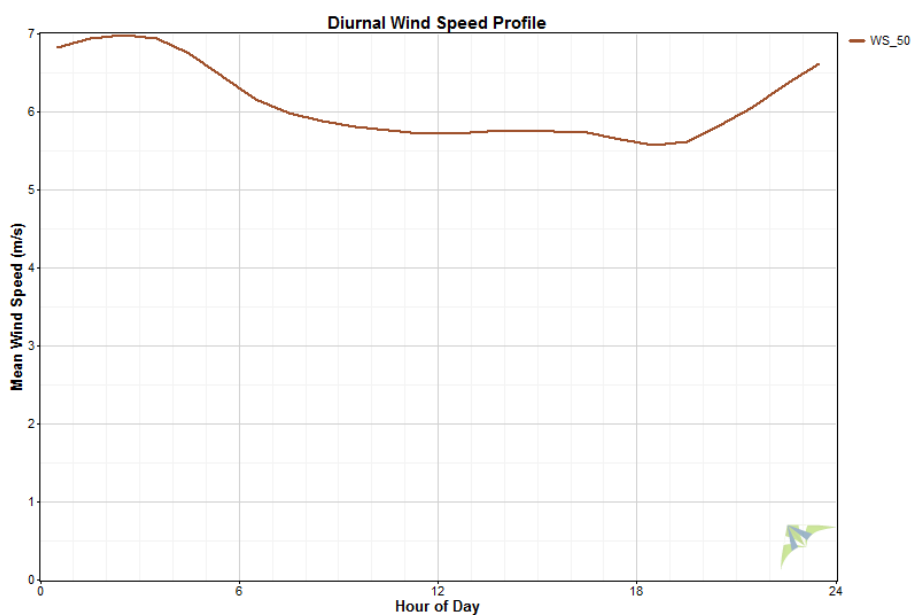


Figura 9: Profilo giornaliero di velocità – GR10

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	22 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

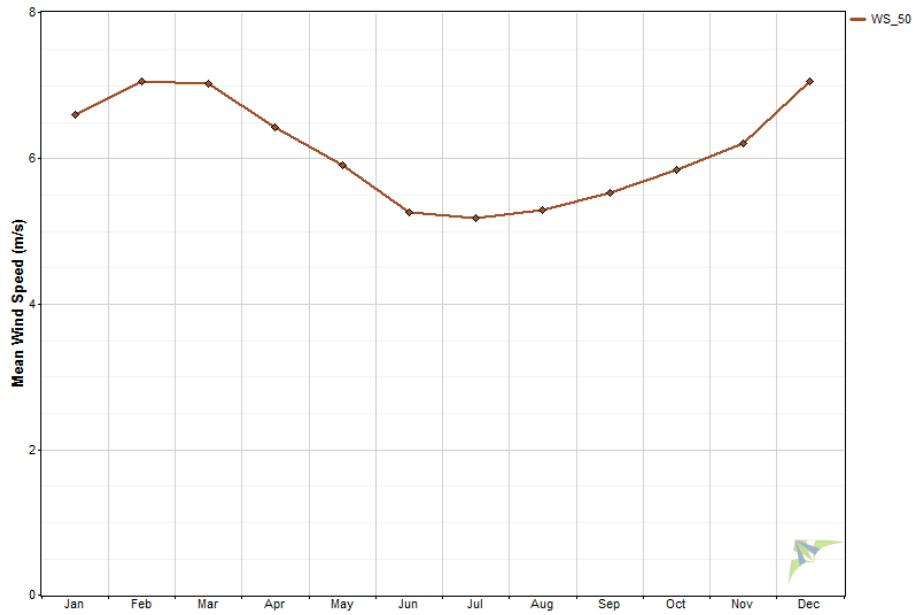


Figura 10: Profilo mensile di velocità – GR10

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	23 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

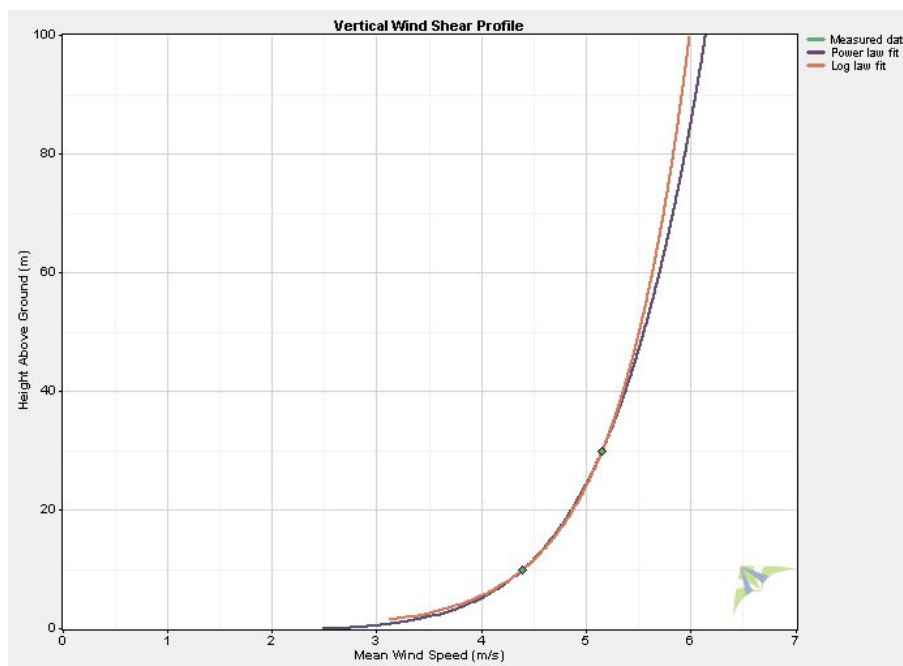


Figura 11: Profilo verticale di velocità (wind shear)

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.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	24 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

Nel caso specifico di Greci e Montaguto, i dati vento ottenuti dalle torri anemometriche di sito non sono stati ritenuti affidabili per estrapolare il profilo verticale alle altezze delle torri Repowering. Si è quindi provveduto ad utilizzare gli anemometri di navicella per ottenere dei database di misure più consistenti. Siccome sulle turbine non sono installati sensori di direzione, questi ultimi sono stati ottenuti dalla torre anemometrica più vicina a ciascuna turbina da cui sono stati estrapolati i dati di velocità del vento.

Al fine di ridurre le incertezze di calcolo legate alle misure, è stato preso in considerazione anche il dato di energia da SCADA di impianto esistente.

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

Si ottengono le seguenti statistiche di ventosità (climatologie):

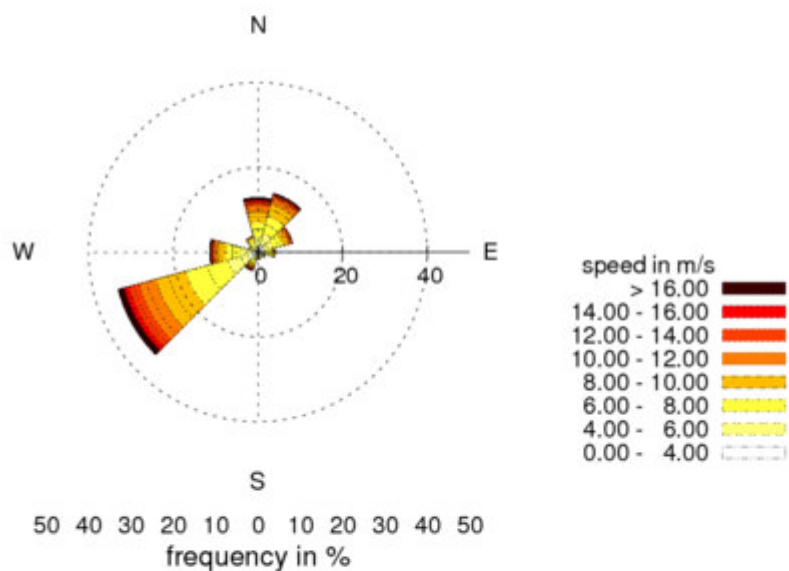
CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	25 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

site name	GR03_50		
filename	6270-GR03-50		
measurement period	01.01.03 - 19.07.13	# records = 465858	
position	x = 514184.0	y = 4567807.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.80	A = 7.19	average = 6.51

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.84	2.17	2.03	2.07	1.74	1.78	2.39	1.62	1.84	1.76	2.34	1.77
A	7.84	7.31	6.39	5.17	3.40	3.70	4.82	7.01	8.10	6.83	4.80	5.56
freq	12.8	14.3	8.4	4.1	1.8	1.0	1.5	4.5	34.1	11.4	2.2	3.9
mean	7.24	6.48	5.62	4.49	3.01	3.26	4.05	6.34	7.53	6.26	4.10	5.03

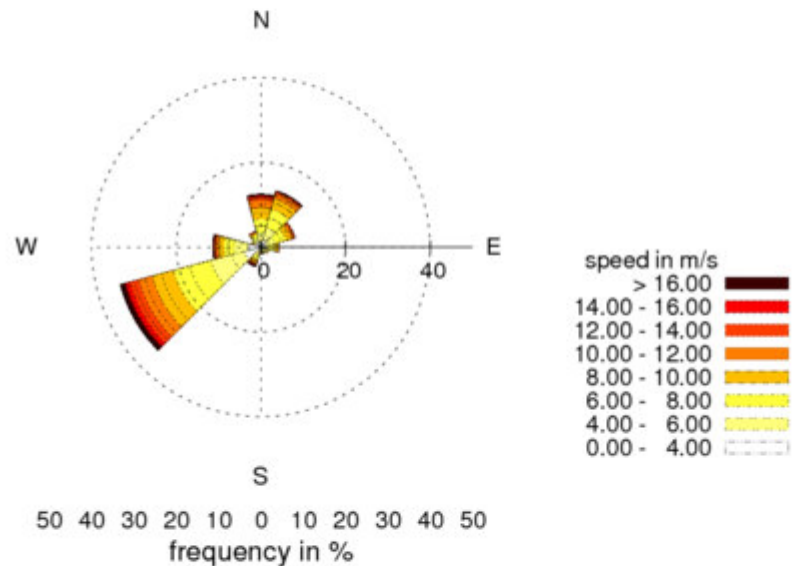
Figura 12: Tabella di frequenze GR03-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	26 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

site name	GR10_50		
filename	6268-GR10-50		
measurement period	01.07.03 - 19.07.13	# records = 459700	
position	x = 513804.0	y = 4568470.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.72	A = 6.64	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



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.21	2.23	2.28	2.57	2.91	2.68	2.09	1.54	1.64	1.47	1.60	1.70
A	7.88	6.86	6.38	5.91	4.63	4.49	5.43	6.80	7.19	5.70	3.42	5.46
freq	12.4	13.7	8.3	4.3	2.0	1.1	1.6	4.7	34.3	11.4	2.3	3.9
mean	6.99	6.10	5.64	5.10	3.95	3.79	4.72	6.25	6.77	5.28	3.15	4.89

Figura 13: Tabella di frequenze GR10-50m

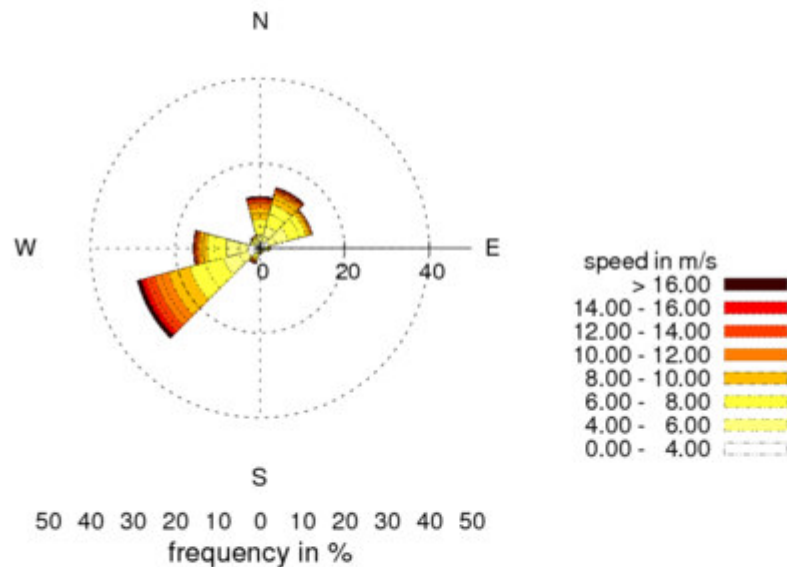
CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	27 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

site name	GR11_50		
filename	6269-GR11-50		
measurement period	01.07.02 - 19.07.13	# records = 528854	
position	x = 514683.0	y = 4569517.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.73	A = 6.45	average = 5.98

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.09	2.06	2.56	2.28	2.23	2.37	2.26	1.75	1.82	1.83	1.95	1.67
A	7.74	6.56	5.54	5.01	3.54	3.83	5.29	6.93	7.66	5.86	3.61	4.89
freq	12.1	14.7	12.7	2.3	1.1	1.0	1.4	3.7	29.9	15.6	2.5	2.9
mean	7.01	6.00	4.86	4.34	3.12	3.34	4.57	6.29	7.09	5.36	3.18	4.37

Figura 14: Tabella di frequenze GR11-50m

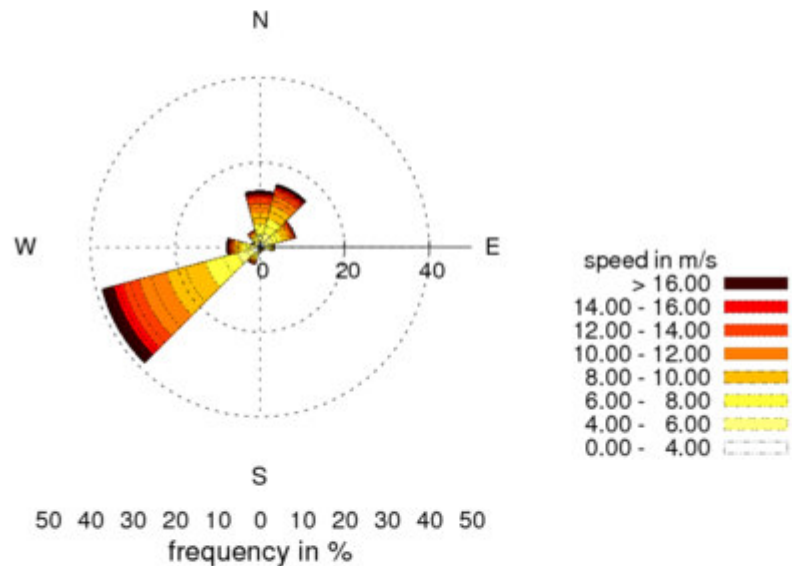
CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	28 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

site name	WTG_MA01-50		
filename	6273-WTG_MA01-50		
measurement period	29.06.05 - 19.07.13	# records = 376136	
position	x = 519628.0	y = 4567486.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.93	A = 8.62	average = 7.70

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

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.13	2.07	1.87	1.87	1.65	1.94	1.71	1.76	2.06	1.60	1.63	1.74
A	9.28	8.75	7.22	5.05	3.98	4.38	5.01	7.07	9.61	7.90	5.61	7.14
freq	13.2	15.3	8.7	3.4	1.0	0.9	1.1	4.2	38.5	7.8	1.8	4.0
mean	8.24	7.86	6.47	4.47	3.51	3.86	4.46	6.29	8.79	7.43	5.06	6.40

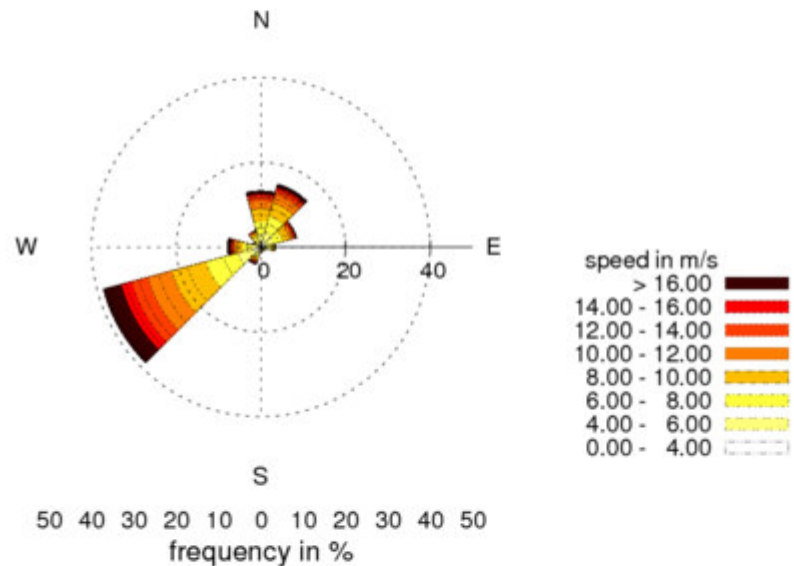
Figura 15: Tabella di frequenze MA01-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	29 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

site name	WTG_MA04-50		
filename	6271-WTG_MA04-50		
measurement period	29.06.05 - 19.07.13	# records = 376002	
position	x = 519413.0	y = 4567617.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.71	A = 8.54	average = 7.87

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

Frequency distribution
 ◀ ▶ Sector: all Sectors



.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.99	1.93	1.81	1.91	1.92	2.29	1.77	1.61	1.82	1.43	1.51	1.81
A	8.63	8.36	7.23	5.57	4.65	5.04	5.63	7.68	9.92	7.92	5.87	6.99
freq	13.2	15.3	8.7	3.4	1.0	0.9	1.1	4.2	38.5	7.8	1.8	4.0
mean	7.79	7.63	6.60	4.95	3.94	4.38	5.00	6.98	9.23	7.74	5.42	6.21

Figura 16: Tabella di frequenze MA04-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	30 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

Per il calcolo delle velocità ad altezza mozzo degli aerogeneratori (107.5, 110, 112 e 114 m a Greci, 90, 91 e 91.5 m a Montaguto) si è fatto affidamento all'esponente di wind shear stimato dal software.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	31 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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. 890). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media pari a $\rho = 1,120 \text{ kg/m}^3$.

4.1 Aerogeneratori Greci

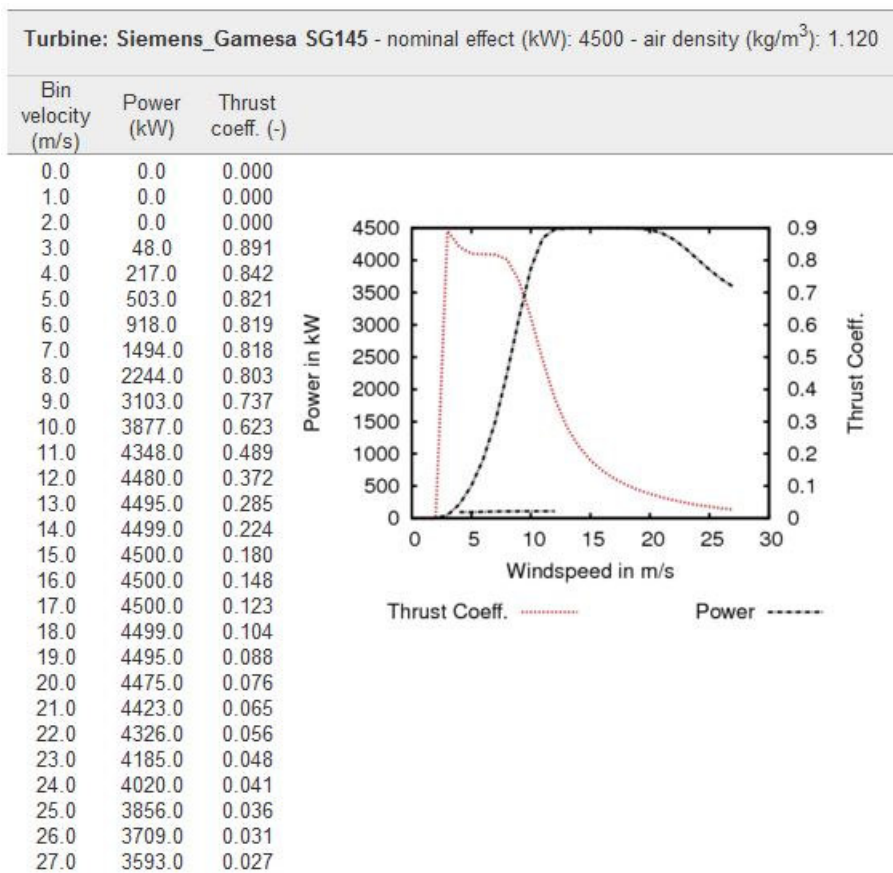


Figura 17: Aerogeneratore Siemens-Gamesa SG145 4.5

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	32 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

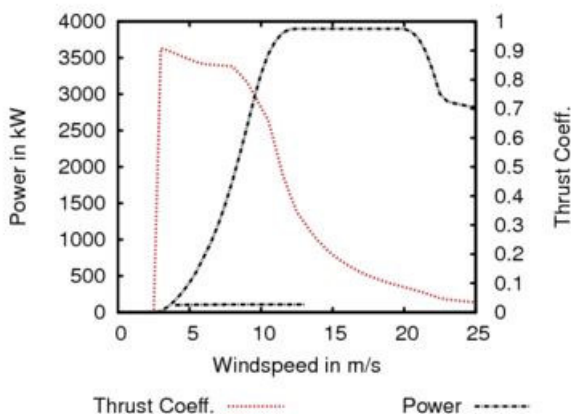


Figura 18: Aerogeneratore Nordex N131 3.9 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	33 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

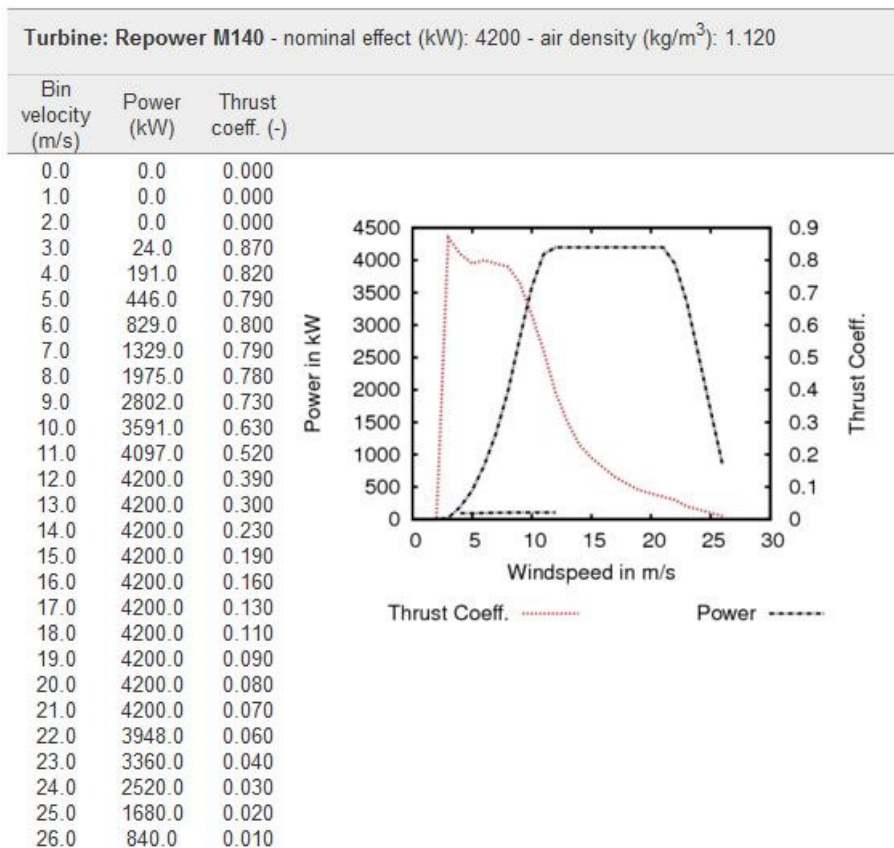


Figura 19: Aerogeneratore Senvion M140 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	34 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

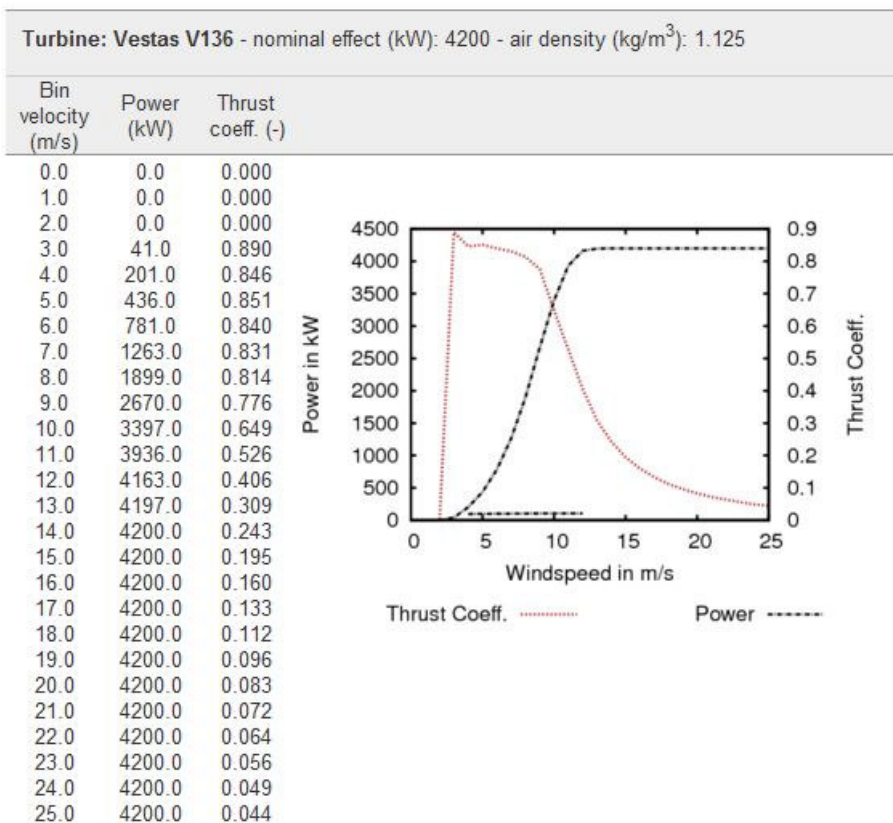


Figura 20: Aerogeneratore Vestas V136 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	35 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

4.2 Aerogeneratori Montaguto

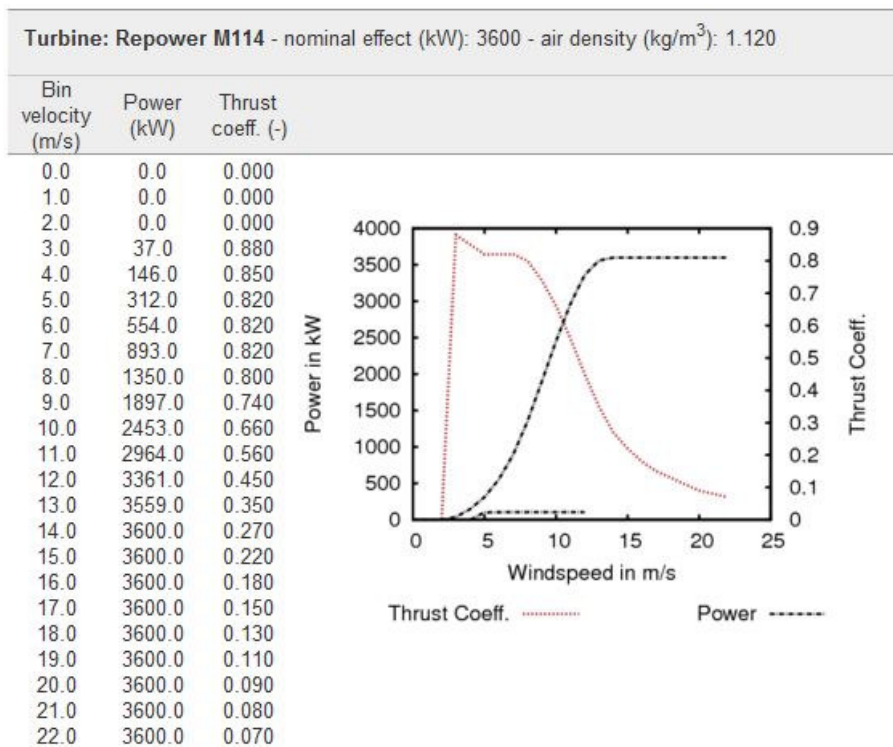


Figura 21: Aerogeneratore Senvion M114 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	36 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

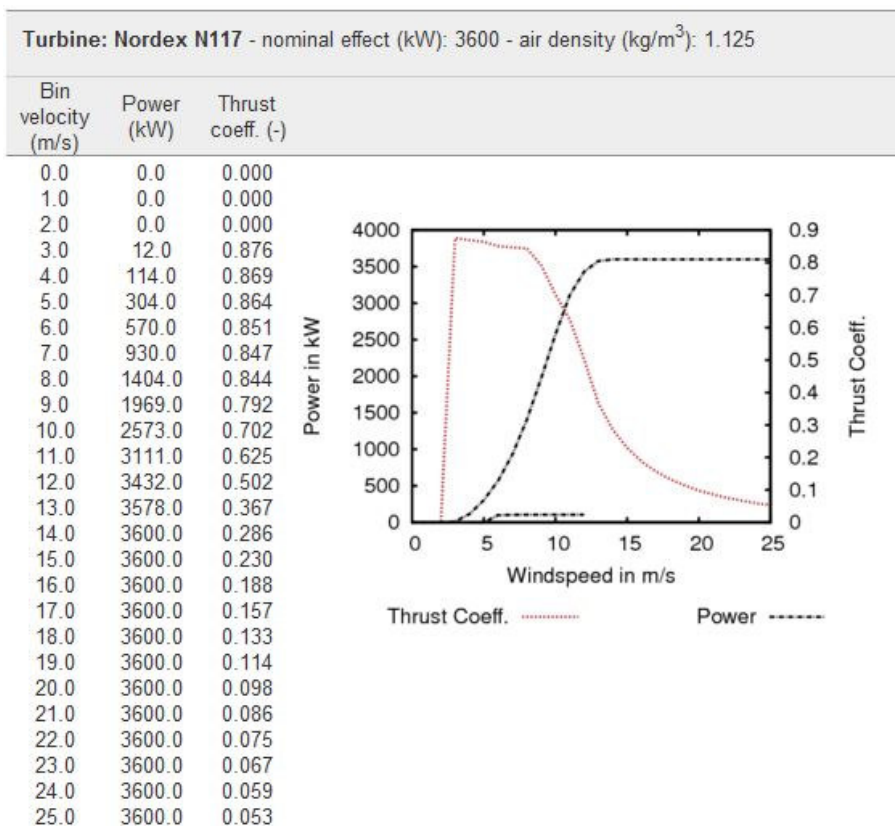


Figura 22: Aerogeneratore Nordex N117 3.6 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	37 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

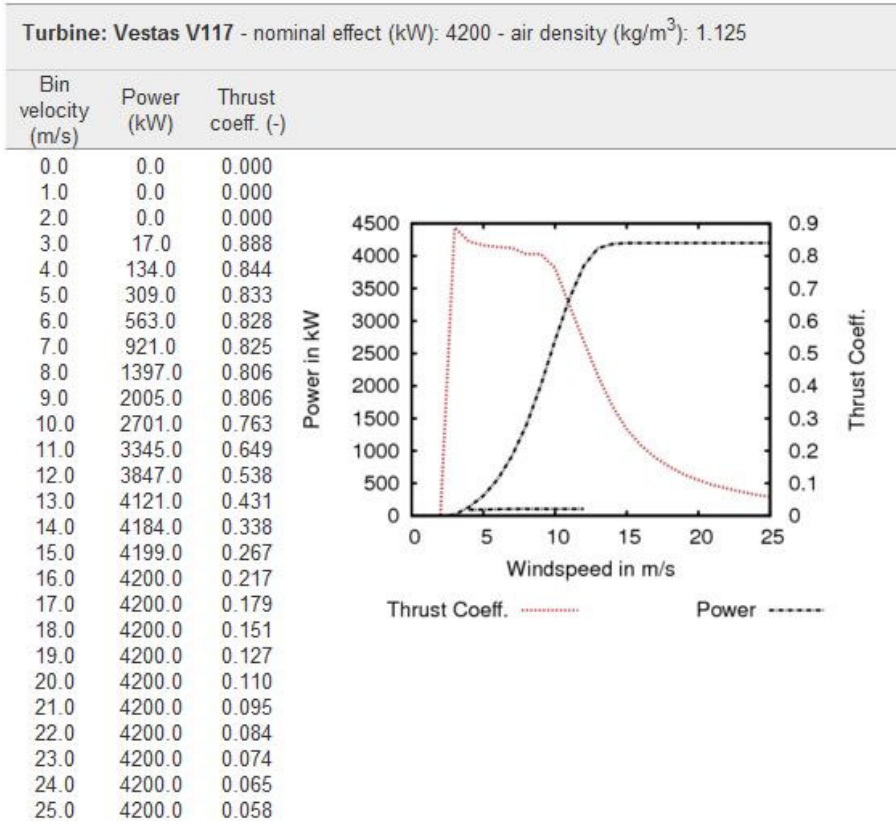


Figura 23: Aerogeneratore Vestas V117 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	38 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

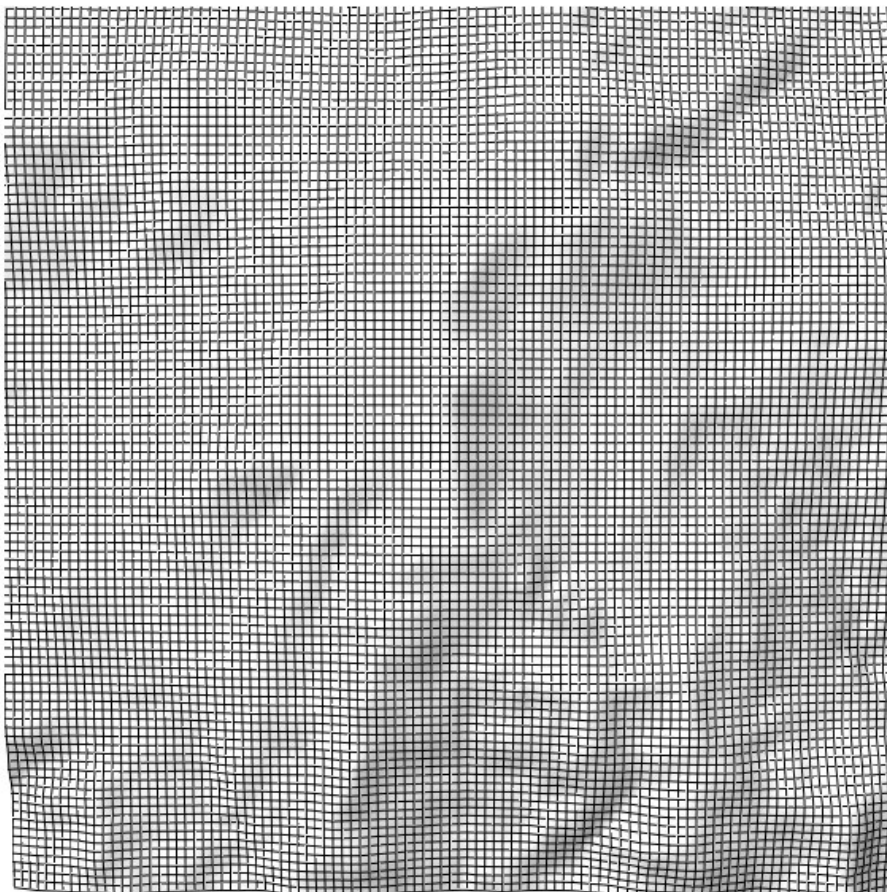
5 APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD

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 40 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 Montaguto:

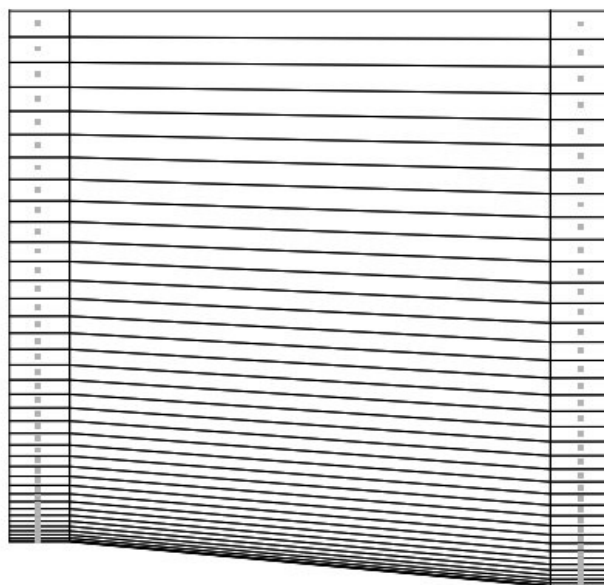


	x	y	z	total
Grid spacing (m)	40.0	40.0	Variable	-
Number of cells	100	100	40	400000

Figura 24: Discretizzazione orizzontale del dominio di calcolo (Montaguto)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	39 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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 Montaguto):



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z-dist. max (m)	1.7	5.0	8.3	22.2	49.6	83.0	122.6	168.2	219.9	277.7
z-dist. min (m)	1.7	5.0	8.3	23.2	52.9	89.2	132.1	181.6	237.7	300.5

Figura 25: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo (Montaguto)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	40 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

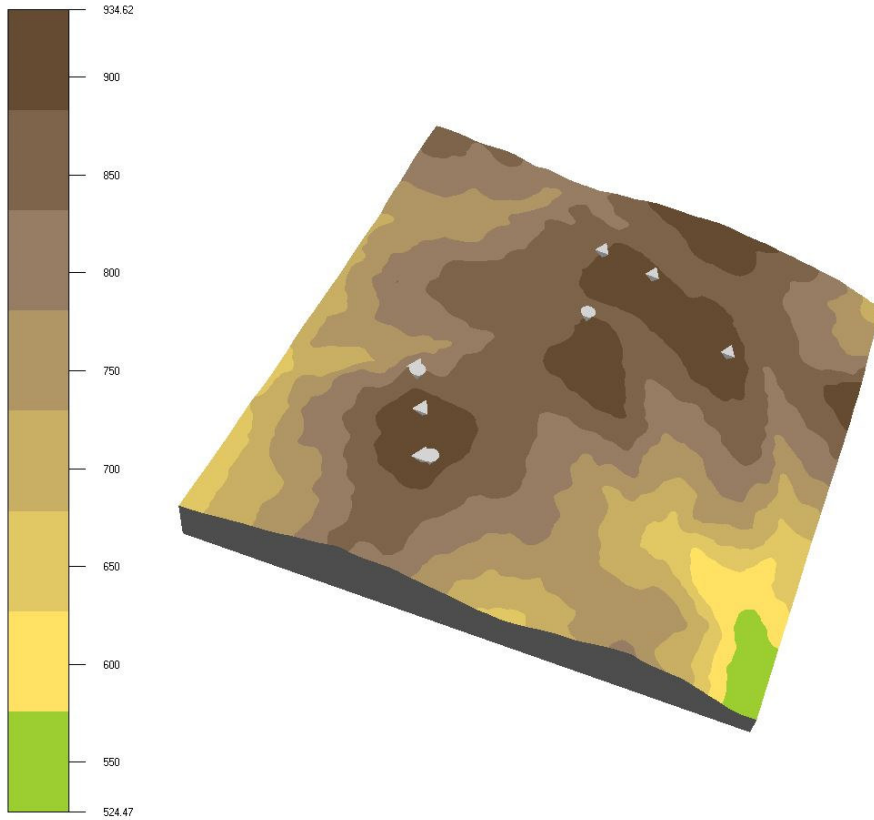


Figura 26: Mappa 3D del sito di Greci

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	41 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

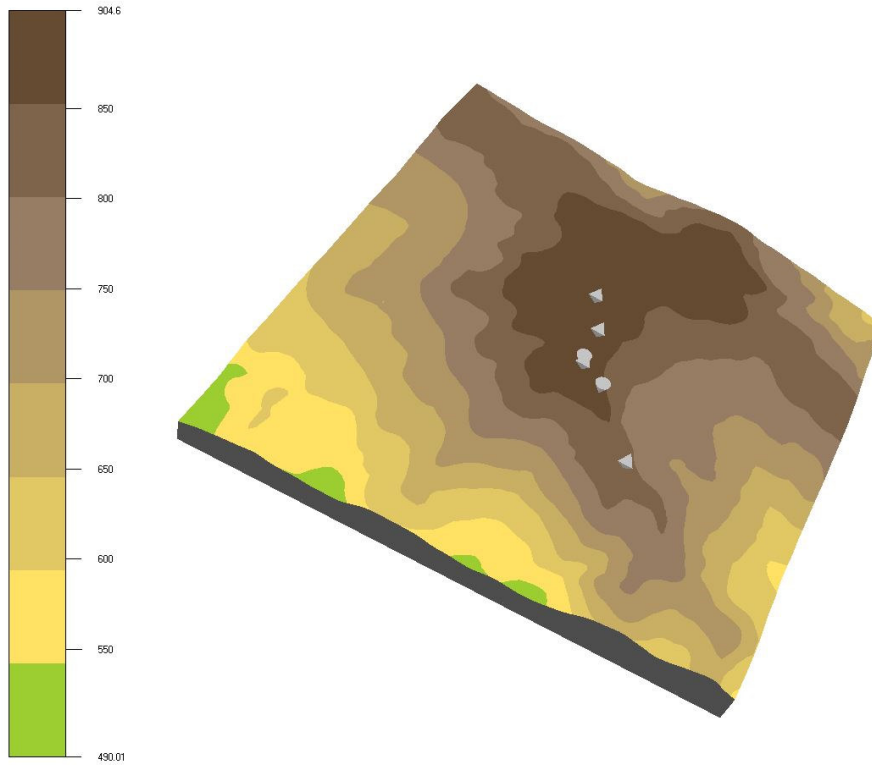


Figura 27: Mappa 3D area del sito di Montaguto

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	42 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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 Greci:

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	43 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

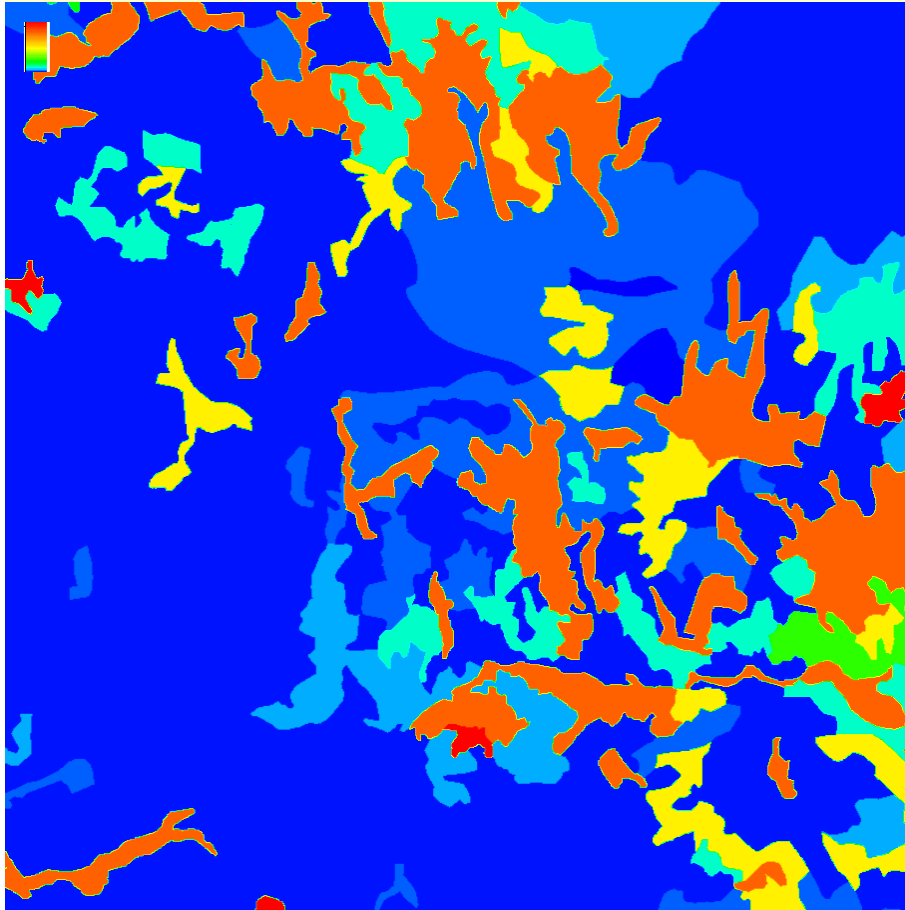


Figura 28: Mappa di rugosità di Greci

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	44 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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 turbina:

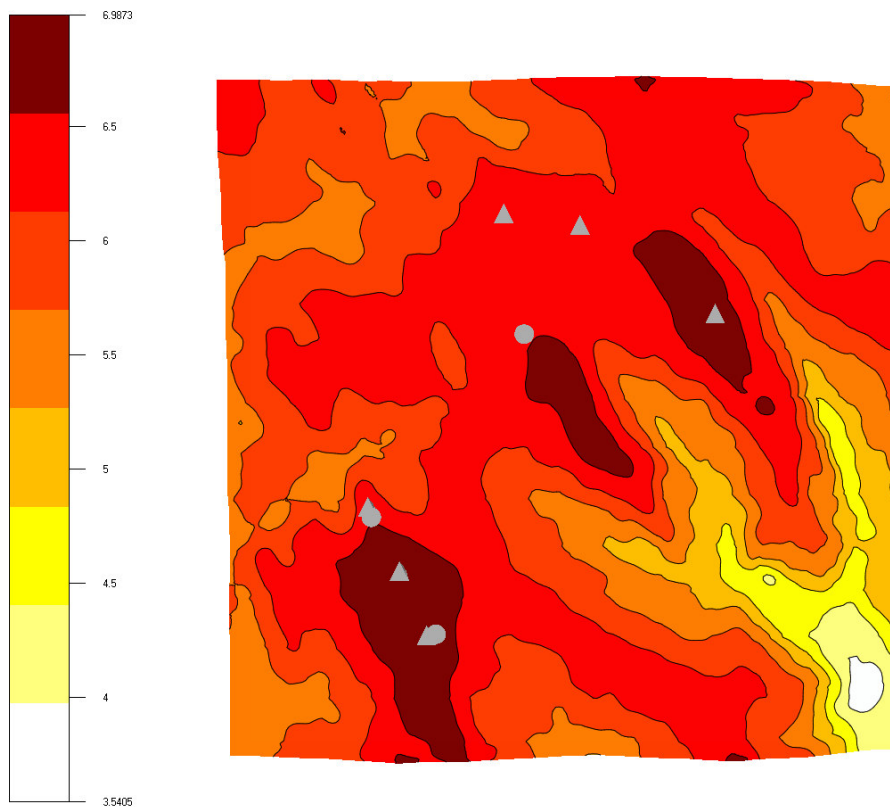


Figura 29: Mappa di ventosità a 112 m s.l.s., Greci

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	45 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

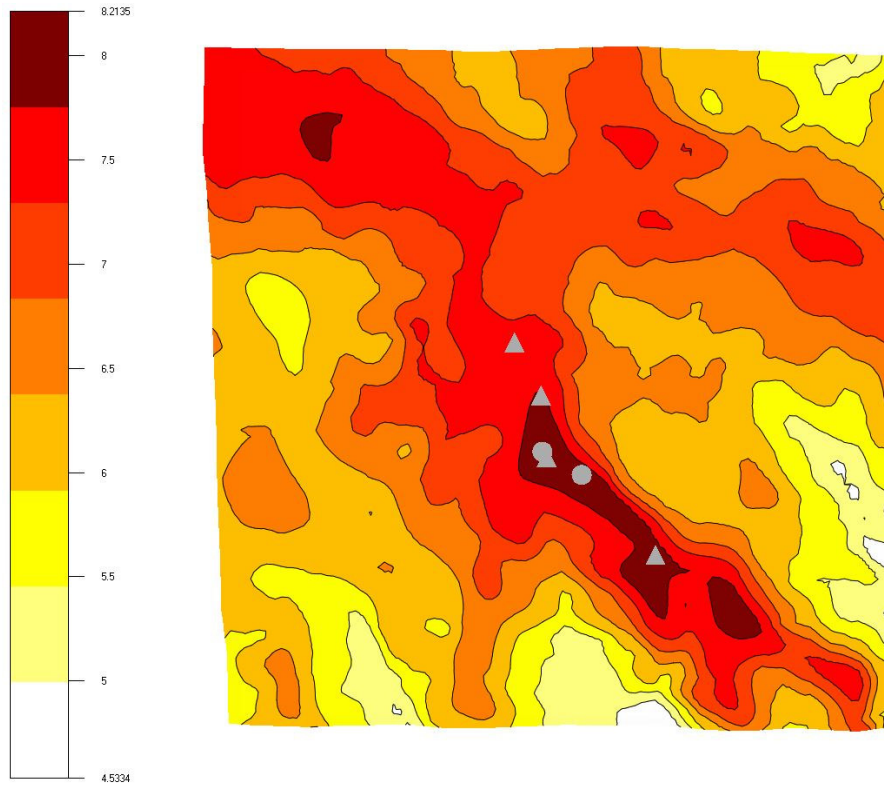


Figura 30: Mappa di ventosità a 91 m s.l.s., Montaguto

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	46 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

5.4 Risultati del modello Greci

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. Per gli aerogeneratori installati sul territorio comunale di Greci:

	V136	N131	M140	SG145
Numero WTG	6	6	6	6
Potenza Unitaria (MW)	4.2	3.9	4.2	4.5
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	71455	67330	73745	80692

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 standard di calcolo delle scie implementati.

V136					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-GR01	6.88	12815	6.81	12583	1.8%
R-GR02	6.84	12659	6.77	12482	1.4%
R-GR03	6.35	11139	6.33	11116	0.2%
R-GR04	6.34	10977	6.3	10890	0.8%
R-GR05	6.51	11570	6.37	11170	3.5%
R-GR06	6.72	12295	6.71	12278	0.1%
Media	6.61	11909	6.55	11753	1.3%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	47 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

N131					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-GR01	6.88	12068	6.81	11831	2.0%
R-GR02	6.84	11928	6.78	11754	1.5%
R-GR03	6.35	10488	6.34	10465	0.2%
R-GR04	6.35	10362	6.31	10277	0.8%
R-GR05	6.52	10908	6.39	10521	3.5%
R-GR06	6.72	11577	6.72	11562	0.1%
Media	6.61	11222	6.56	11068	1.4%

M140					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-GR01	6.88	13236	6.81	13006	1.7%
R-GR02	6.83	13064	6.77	12888	1.3%
R-GR03	6.34	11501	6.33	11475	0.2%
R-GR04	6.32	11328	6.29	11241	0.8%
R-GR05	6.5	11937	6.37	11538	3.3%
R-GR06	6.71	12680	6.7	12662	0.1%
Media	6.60	12291	6.55	12135	1.3%

SG145					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-GR01	6.87	14504	6.8	14246	1.8%
R-GR02	6.82	14304	6.76	14103	1.4%
R-GR03	6.32	12584	6.31	12555	0.2%
R-GR04	6.31	12381	6.28	12281	0.8%
R-GR05	6.49	13048	6.35	12594	3.5%
R-GR06	6.7	13871	6.69	13851	0.1%
Media	6.59	13449	6.53	13271	1.3%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	48 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

5.5 Risultati del modello Montaguto

La stessa procedura viene quindi effettuata per gli aerogeneratori situati nel territorio comunale di Montaguto:

	V117	N117	M114
Numero WTG	4	4	4
Potenza Unitaria (MW)	4.2	3.6	3.6
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	52372	48628	47151

V117					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MA02	7.73	13266	7.71	13214	0.4%
R-MA03	8.07	14037	7.87	13370	4.8%
R-MA04	7.71	13026	7.64	12835	1.5%
R-MA05	7.37	12043	7.34	11971	0.6%
Media	7.72	13093	7.64	12847	1.8%

N117					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MA02	7.73	12313	7.71	12265	0.4%
R-MA03	8.07	12980	7.87	12381	4.6%
R-MA04	7.71	12104	7.64	11924	1.5%
R-MA05	7.37	11231	7.34	11163	0.6%
Media	7.72	12157	7.64	11933	1.8%

M114					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-MA02	7.73	11957	7.71	11916	0.3%
R-MA03	8.07	12543	7.89	12029	4.1%
R-MA04	7.7	11738	7.64	11583	1.3%
R-MA05	7.36	10913	7.34	10849	0.6%
Media	7.72	11788	7.65	11594	1.6%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	49 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

6 ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE GRECI

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)	3.68%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	2.00%
Perdite ambientali	0.50%
Perdite dovute all'ombra (flickering)	0.03%
Totale perdite escluso scie	8.93%

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

	SG145	V136	N131	M140
Numero WTG	6	6	6	6
Produzione netta WTG -P50 (MWh/anno)	12087	10704	10080	11052

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	50 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

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

SG145	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-GR01	6.87	2883
R-GR02	6.82	2854
R-GR03	6.32	2541
R-GR04	6.31	2485
R-GR05	6.49	2549
R-GR06	6.7	2803
Media	6.59	2686

V136	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-GR01	6.88	2729
R-GR02	6.84	2707
R-GR03	6.35	2410
R-GR04	6.34	2361
R-GR05	6.51	2422
R-GR06	6.72	2662
Media	6.61	2548

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-GR01	6.88	2763
R-GR02	6.84	2745
R-GR03	6.35	2444
R-GR04	6.35	2400
R-GR05	6.52	2457
R-GR06	6.72	2700
Media	6.61	2585

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	51 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

M140	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Produttività netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-GR01	6.88	2820
R-GR02	6.83	2795
R-GR03	6.34	2488
R-GR04	6.32	2437
R-GR05	6.5	2502
R-GR06	6.71	2746
Media	6.60	2631

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

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

	SG145	V136	N131	M140
Numero WTG	6	6	6	6
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	72519	64222	60479	66309

Una volta ottenuto il valore P50, rappresentativo di tutto l'impianto, vengono individuati i relativi valori di produttività 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:

	SG145	V136	N131	M140
incertezza sulla storicizzazione del sito	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%
incertezza sul processo di micrositing	4.7%	5.0%	5.1%	4.9%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Incetezza complessiva	8.4%	8.5%	8.6%	8.5%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	52 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

	SG145	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	72.5	2686
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	70.6	2614
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	68.4	2534
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	64.7	2397

	V136	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	64.2	2548
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	62.5	2479
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	60.5	2402
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	57.2	2270

	N131	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	60.5	2585
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	58.8	2514
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	57.0	2435
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	53.8	2301

	M140	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	66.3	2631
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	64.5	2560
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	62.5	2481
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	59.1	2346

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	53 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

7 ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE MONTAGUTO

Come nel caso di Greci, 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)	1.50%
Perdite ambientali	0.20%
Perdite dovute all'ombra (flickering)	0.17%
Perdite acustiche	1.00%
Totale perdite escluso scie	8.59%

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

	V117	N117	M114
Numero WTG	4.2	3.6	3.6
Produzione netta WTG -P50 (MWh/anno)	11744	11050	10598

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	54 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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

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

V117	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MA02	7.73	2876
R-MA03	8.07	2910
R-MA04	7.71	2793
R-MA05	7.37	2605
Media	7.72	2796

N117	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MA02	7.73	3155
R-MA03	8.07	3181
R-MA04	7.71	3068
R-MA05	7.37	2874
Media	7.72	3070

M114	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-MA02	7.73	3026
R-MA03	8.07	3054
R-MA04	7.7	2941
R-MA05	7.36	2755
Media	7.72	2944

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	N117	M114
Numero WTG	4	4	4
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	46975	44201	42393

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITA'	55 di 55
GRE	ENG	REL	0028	00		

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
incertezza sulla storicizzazione del sito	5.2%	5.2%	5.2%
incertezza sul processo di micrositing	4.3%	4.3%	4.2%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5.0%	5.0%	5.0%
Incetenza complessiva	8.4%	8.4%	8.4%

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

	V117	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	47.0	2796
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	45.7	2721
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	44.3	2638
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	41.9	2495

	N117	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	44.2	3070
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	43.0	2988
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	41.7	2896
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	39.5	2740

	M114	
P50 (GWh/anno - ore equivalenti)	42.4	2944
P62.5 (GWh/anno - ore equivalenti)	41.3	2866
P75 (GWh/anno - ore equivalenti)	40.0	2778
P90 (GWh/anno - ore equivalenti)	37.9	2629