

REGIONE SARDEGNA
Provincia di Sassari
COMUNI DI NULVI E PLOAGHE

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI- PLOAGHE



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:

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

OGGETTO DELL'ELABORATO:

VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITÀ

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	03/08/2018		1 di 51	A4	PLO	ENG	REL	0026	00

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO NULVI - PLOAGHE VALUTAZIONE RISORSA EOLICA E ANALISI DI PRODUCIBILITÀ	2
PLO	ENG	REL	0025	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	03/08/2018	Prima emissione	MG	GL	DG



NULVI-PLOAGHE (SS)

Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità

0	23/07/2018	Layout pro istanza	DI MAIO	CORBO	DEPERU
REV.	DATA	ATTIVITÀ	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	PAGINA
PRG	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV	PLG-ENG-REL-0026-00	1 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	2 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RAPPRESENTAZIONE DEL SITO	4
2.1	Descrizione del sito	4
2.2	Layout	8
2.3	Aerogeneratori adottati	9
2.4	Allacciamento alla rete elettrica	13
3	CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA	14
3.1	Strumenti utilizzati	14
3.2	Raccolta dei dati e validazione	17
3.3	Analisi anemologica e statistica dei dati	18
4	CURVA DI POTENZA	26
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD	30
5.1	Il modello digitale del terreno	30
5.2	La rugosità	35
5.3	La risorsa eolica	36
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.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	3 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

1 INTRODUZIONE

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

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

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

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

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

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	4 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

2 RAPPRESENTAZIONE DEL SITO

2.1 Descrizione del sito

L'impianto esistente è situato nella provincia di Sassari e comprende due comuni: Nulvi e Ploaghe. L'impianto attualmente è costituito da 51 macchine Vestas V52 di potenza complessiva di 43,35 MW.

Il nuovo layout ripotenziato si sviluppa nell'area del parco già esistente e prevede un numero totale di 27 aerogeneratori multi-megawatt.

La maggior parte dell'unità produttiva si sviluppa in direzione Nord-Sud tra il comune di Nulvi e quello di Ploaghe. Un'area minore di impianto è situata in direzione Sud - Sud Ovest rispetto a Nulvi.

L'area preponderante dell'impianto è sviluppata su una dorsale la cui altezza media è di 582 m s.l.m. che degrada in direzione sud ovest per poi risalire su un crinale che si estende che circa 2 km.

Le due zone occupate dall' impianto eolico di Nulvi Ploaghe distano 5 km l'una con l'altra e rimangono ad una distanza maggiore di 1 km da Nulvi, Ploaghe e Osilo.

Alcune parti dell'area d'impianto sono caratterizzate dalla presenza di alberi ad alto fusto piuttosto fitti, che in alcuni casi superano i 5-7 m d'altezza.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	5 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

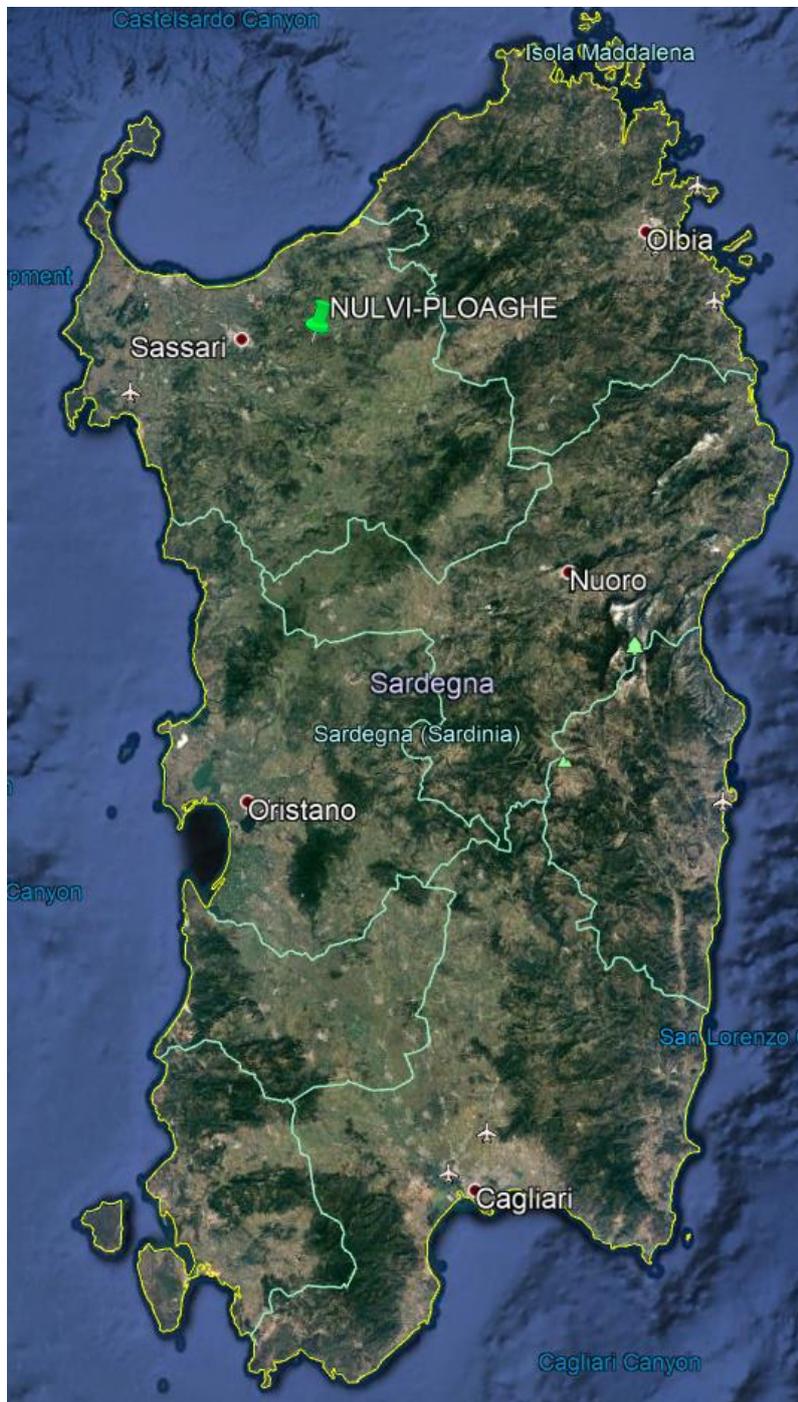


Fig. 1: Inquadramento del sito

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS)	6 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

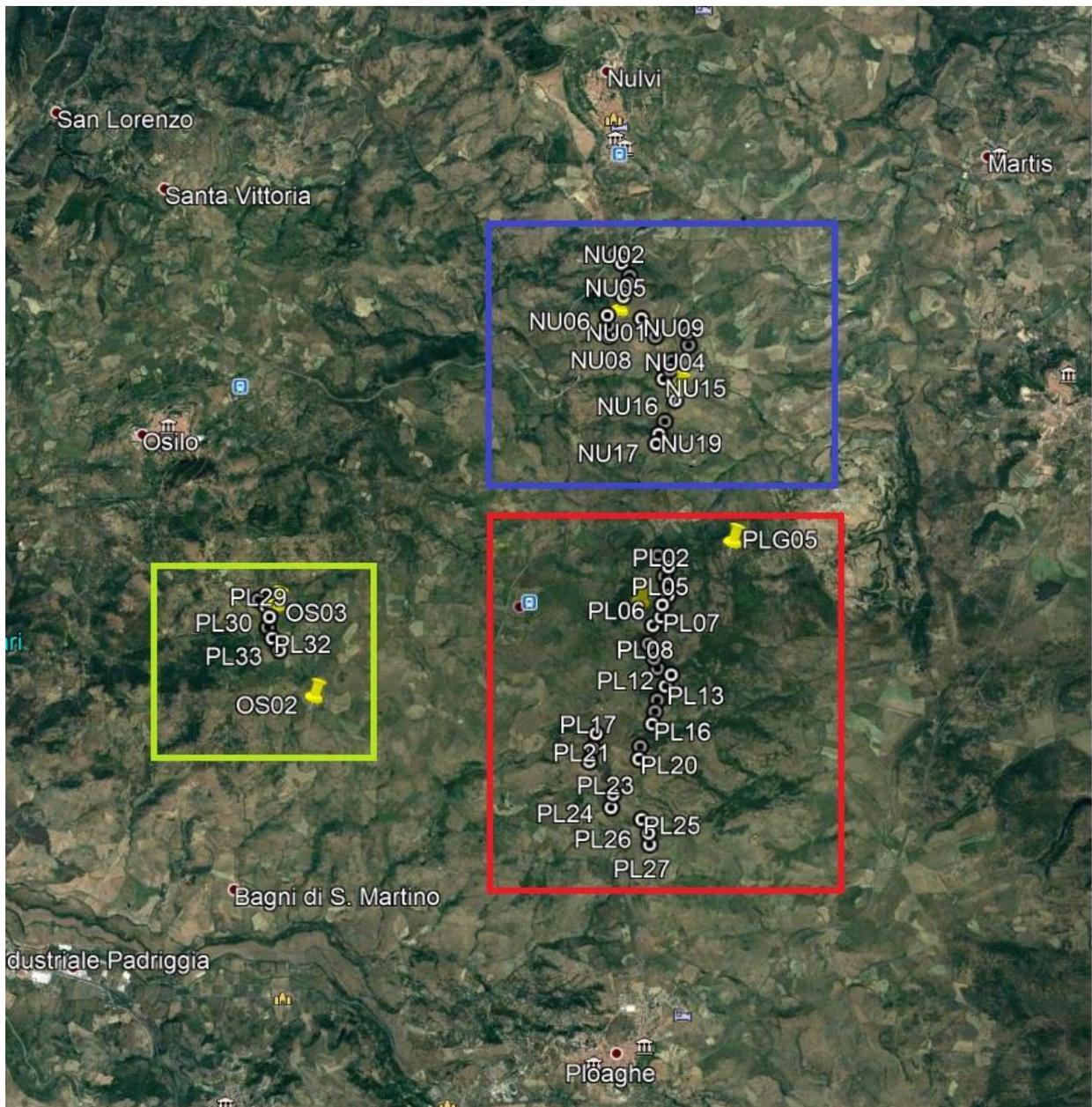


Fig. 1a: Inquadramento del sito: suddivisione delle tre aree (Nulvi- in blu; Ploaghe meridionale in rosso; Ploaghe occidentale in verde chiaro)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	7 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

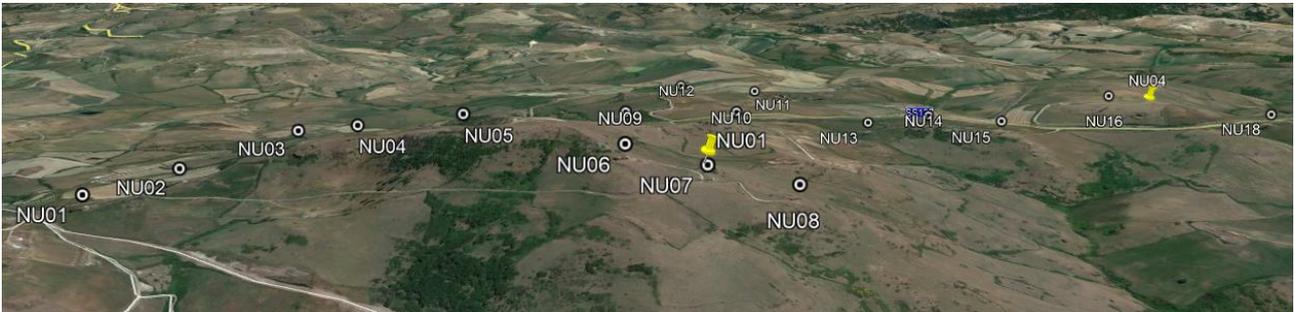


Fig. 1b: Inquadramento del sito vista da Ovest (Nulvi)

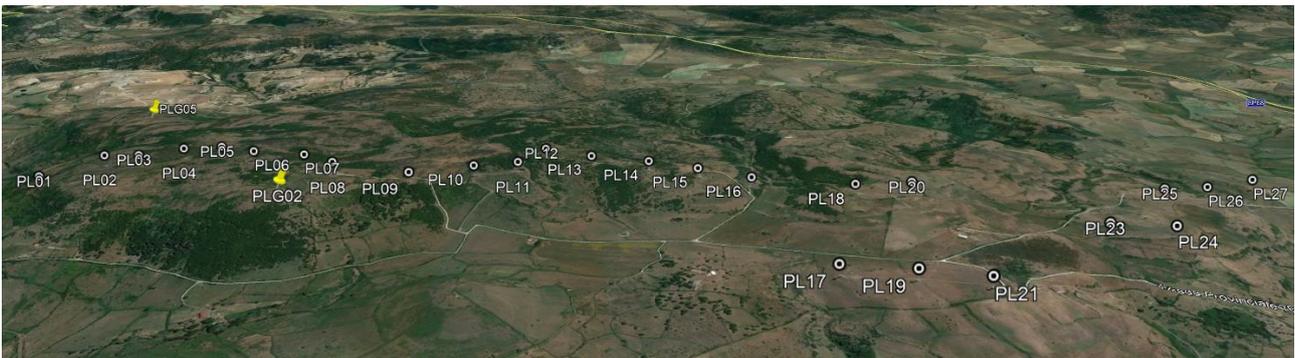


Fig. 1c: Inquadramento del sito vista da Ovest (Ploaghe meridionale)



Fig. 1d: Inquadramento del sito vista da Ovest (Ploaghe occidentale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	8 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

2.2 Layout

Il nuovo layout di impianto è composto da N. 27 aerogeneratori, dislocati all'interno di territori comunali di Nulvi e di Ploaghe.

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

Le coordinate e le quote relative sono:

Sigla	Coordinate UTM WGS84 F33		Quota (m)
	Est	Nord	
R-NU01	478067	4512791	478,1
R-NU02	478658	4512487	556,7
R-NU03	478492	4512082	613,7
R-NU04	478355	4511669	526,5
R-NU05	479494	4511693	500,0
R-NU06	478095	4511314	409,3
R-NU07	479141	4511268	449,3
R-NU08	479358	4510663	501,2
R-NU09	479021	4510209	516,5
R-PLG01	479066	4509718	539,1
R-PLG02	479105	4509279	559,6
R-PLG03	479101	4508842	572,5
R-PLG04	479277	4508443	660,0
R-PLG05	479172	4508015	696,4
R-PLG06	478924	4507642	701,2
R-PLG07	478946	4507080	668,3
R-PLG08	479246	4506762	655,9
R-PLG09	478577	4506477	624,7
R-PLG10	478143	4506038	623,6
R-PLG11	479242	4505884	638,3
R-PLG12	477897	4505583	600,2
R-PLG13	478953	4505447	638,4
R-PLG14	478380	4505143	644,2
R-PLG15	478676	4504820	619,7
R-PLG16	478885	4504245	579,7
R-PLG17	473658	4507715	644,3
R-PLG18	473906	4507119	616,2

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	9 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

2.3 Aerogeneratori adottati

Per la stima di producibilità energetica di Nulvi-Ploaghe vengono prese in esame tre diverse tipologie di aerogeneratori, N131 3.9 MW HH114, V136 4.2 MW HH112, SG145 4.5 MW HH107.5 di cui si riportano di seguito le relative caratteristiche e curve di potenza garantite dal costruttore a densità media di sito ($\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$).

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	10 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

Modello	N131 3.6
Produttore	Nordex
Potenza (MW)	3.6
Diametro (m)	131
Altezza del mozzo (m)	114

Velocità del vento (m/s)	N131 [$\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$] (kW)
3	30
4	190
5	434
6	776
7	1245
8	1858
9	2593
10	3233
11	3541
12	3600
13	3600
14	3600
15	3600
16	3600
17	3600
18	3600
19	3600
20	3600
21	3600
22	3551
23	3186
24	2736
25	2520

Il secondo aerogeneratore preso in esame è Vestas V136 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	11 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

Velocità del vento (m/s)	V136 [$\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$] (kW)
3	43
4	207
5	447
6	800
7	1292
8	1941
9	2724
10	3452
11	3976
12	4174
13	4199
14	4200
15	4200
16	4200
17	4200
18	4200
19	4200
20	4200
21	4200
22	4200
23	4200
24	4200
25	4200

Il terzo aerogeneratore preso in esame è Simens-Gamesa SG145 la cui curva di potenza fornita dal costruttore alla densità media di sito ($\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$) per l'aerogeneratore è la seguente:

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	12 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

Modello	SG145
Produttore	Siemens-Gamesa
Potenza (MW)	4,5
Diametro (m)	145
Altezza del mozzo (m)	107.5

Velocità del vento (m/s)	SG145 [$\rho=1.150 \text{ kg/m}^3$] (kW)
3	50
4	224
5	518
6	944
7	1535
8	2306
9	3183
10	3949
11	4383
12	4484
13	4496
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 6.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	13 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

2.4 Allacciamento alla rete elettrica

L'impianto attuale è connesso alla adiacente stazione elettrica di proprietà Terna, situata nel Comune di Ploaghe provincia di Sassari.

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.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	14 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

3 CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Data la vastità del sito, per esigenze tecniche relative alla costruzione del modello fluidodinamico il sito è stato diviso in tre parti: Nulvi, Ploaghe meridionale e Nulvi occidentale come mostrato in Fig1a.

3.1 Strumenti utilizzati

La campagna anemometrica è stata condotta in sito con 3 torri anemometriche. Ogni sotto-area è stata costruita in modo tale che ogni cluster abbia una torre di misura di altezza 30m

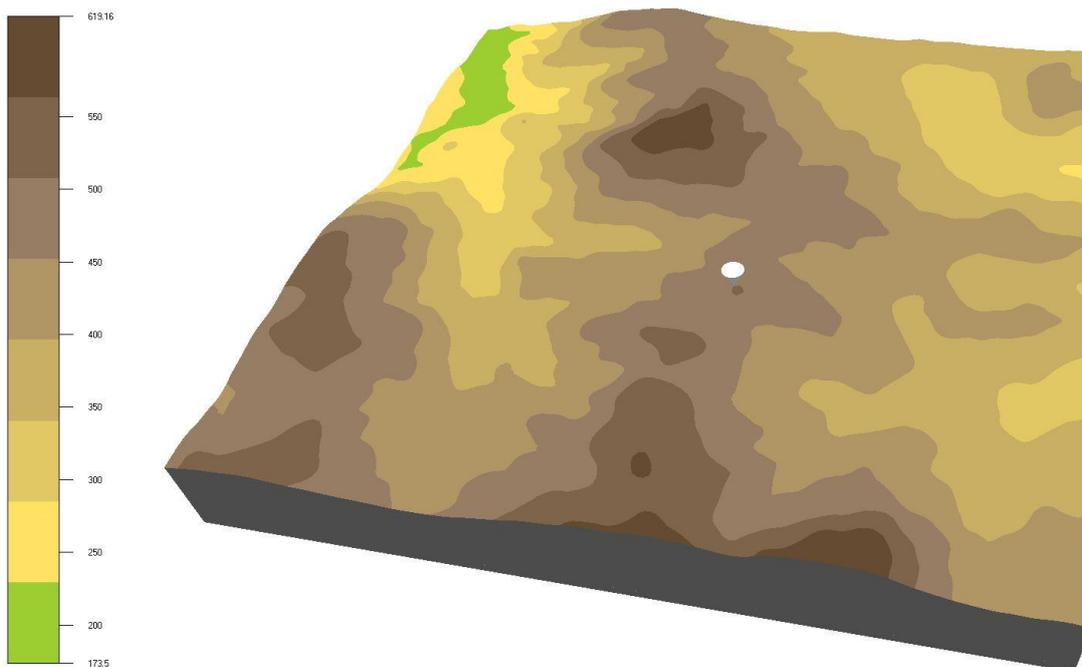


Fig. 3: Stazioni di misura in sito: NU04 (Nulvi)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	15 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

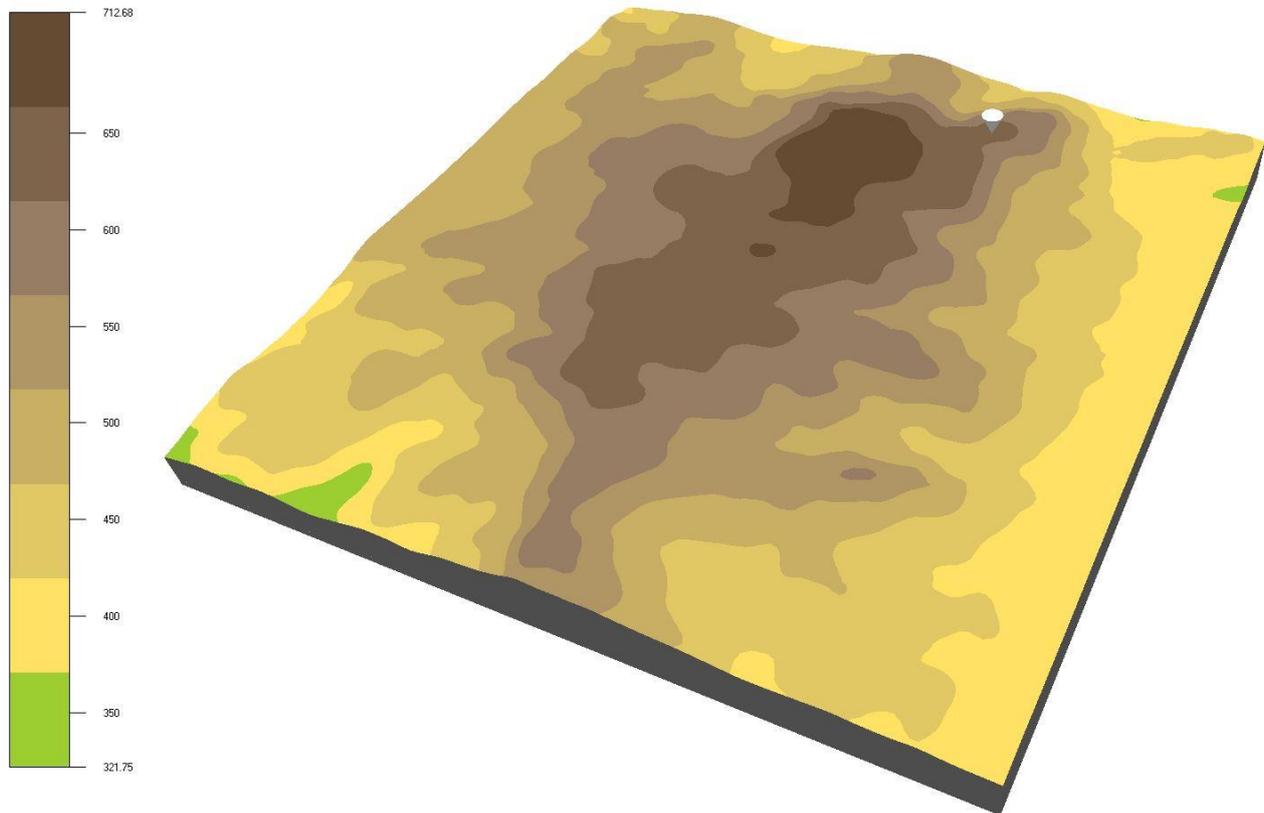


Fig. 4: Stazioni di misura in sito: PLG05 (Ploaghe meridionale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	16 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

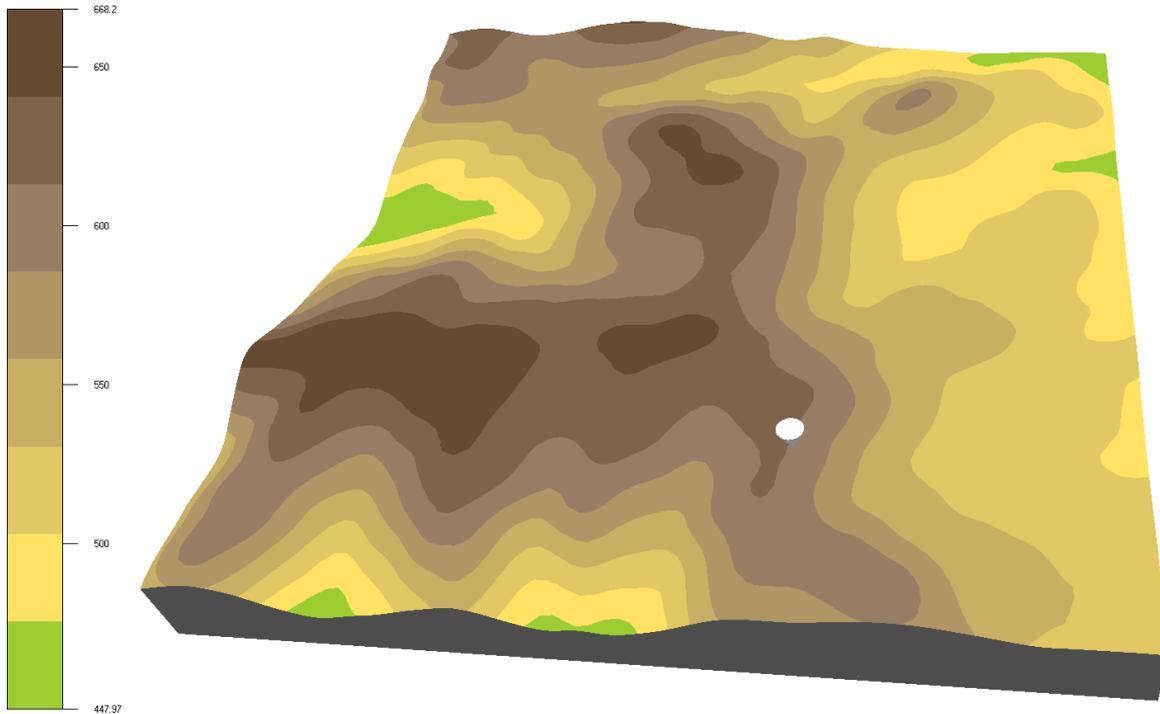


Fig. 5: Stazioni di misura in sito: OS02 (Ploaghe occidentale)

Stazione anemometrica	Coord est	Coord nord	Quota (m)	Altezza (m)	dal	al
NU04	479244	4510680	507,8	30	01/09/2006	01/01/2016
PLG05	479974	4508525	623,6	30	01/10/2003	01/01/2016
OS02	474163	4506392	611,3	30	01/10/2003	01/01/2016

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	17 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

3.2 Raccolta dei dati e validazione

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

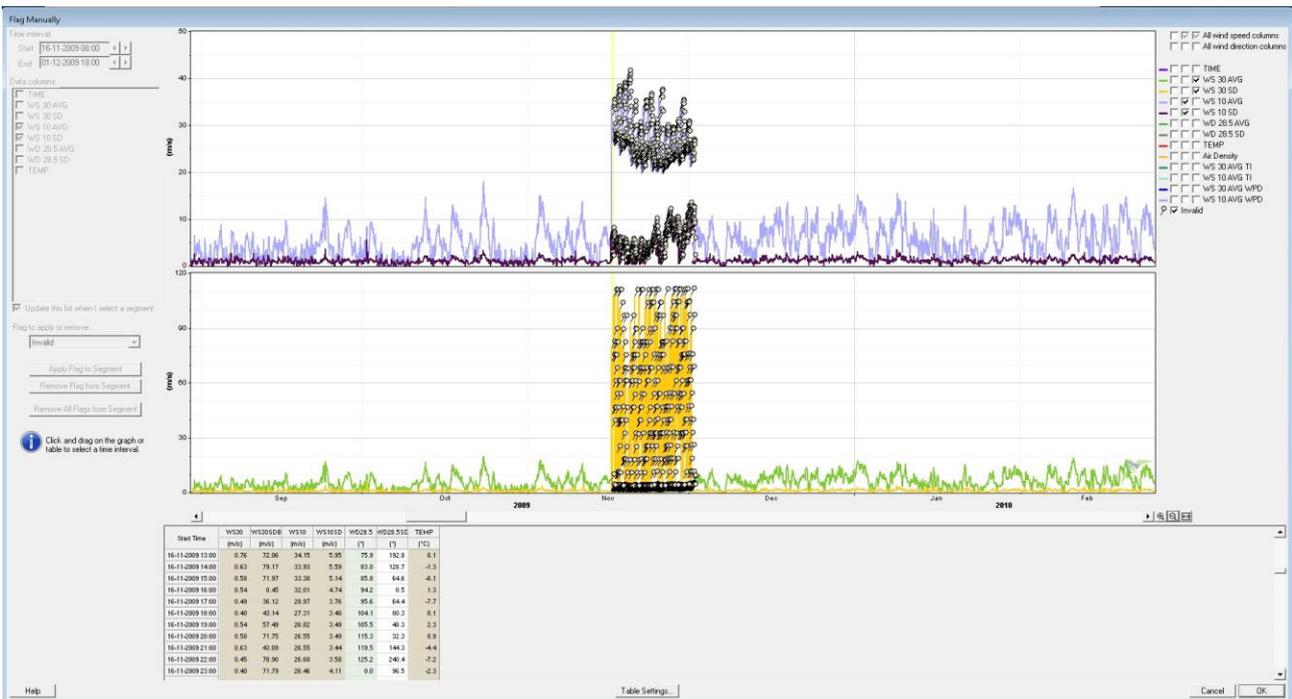


Fig. 6: Validazione anemometro

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.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	18 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

3.3 Analisi anemologica e statistica dei dati

A seguito della validazione dei dati si possono stilare le statistiche sulle velocità medie di sito. Di seguito si riportano a titolo d'esempio i profili statistici relativi ad una delle tre torri di misura (NU04)

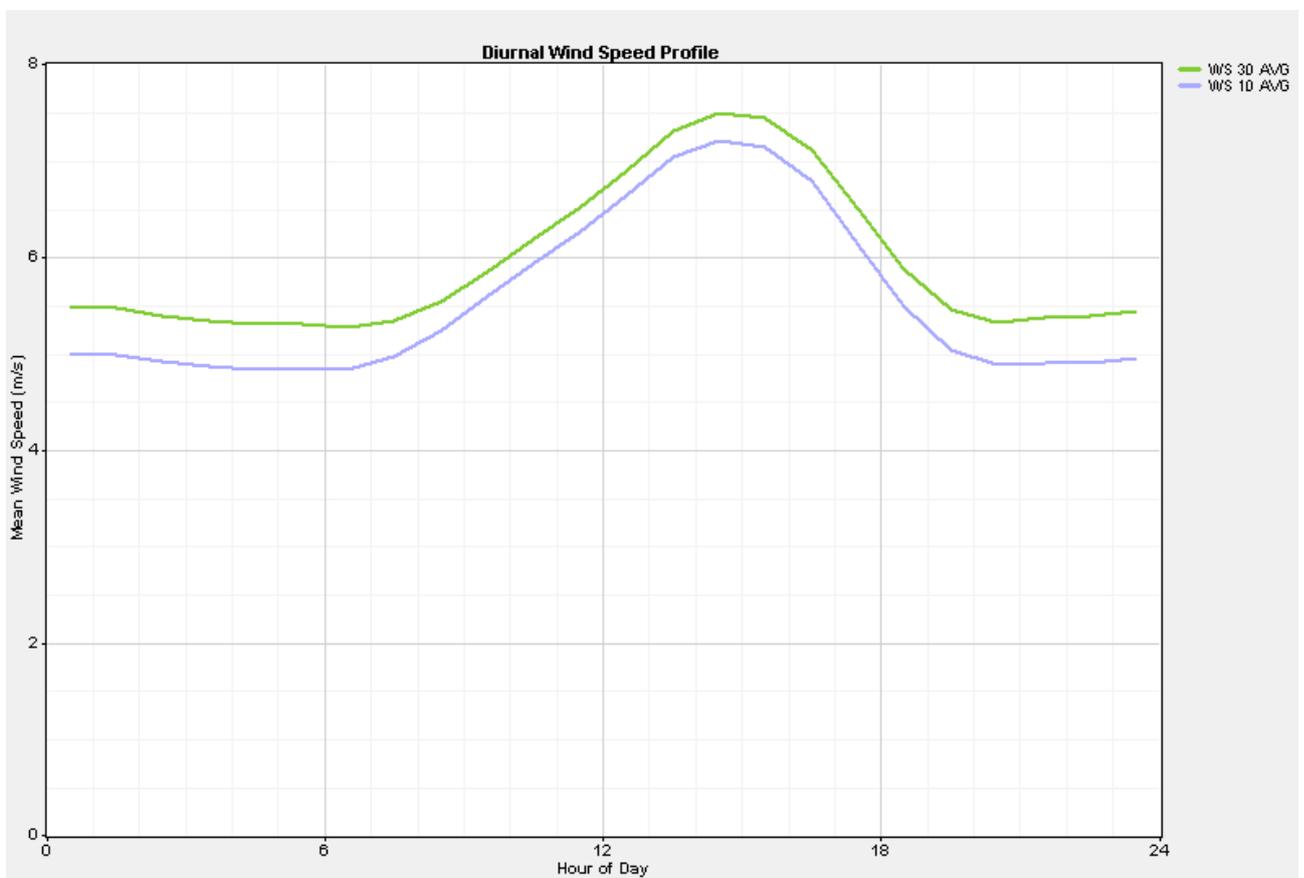


Fig. 7: Profilo giornaliero di velocità – NU04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	19 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

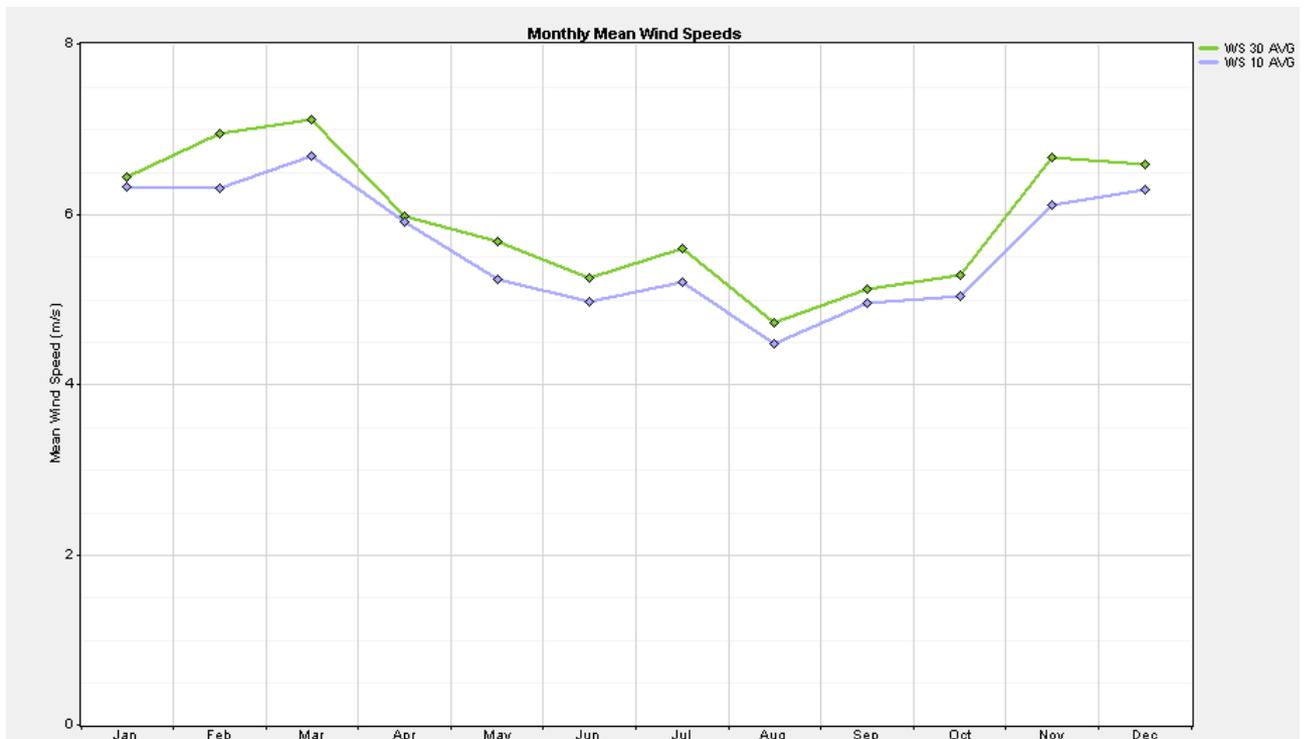


Fig. 8: Profilo mensile di velocità – NU04

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	20 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

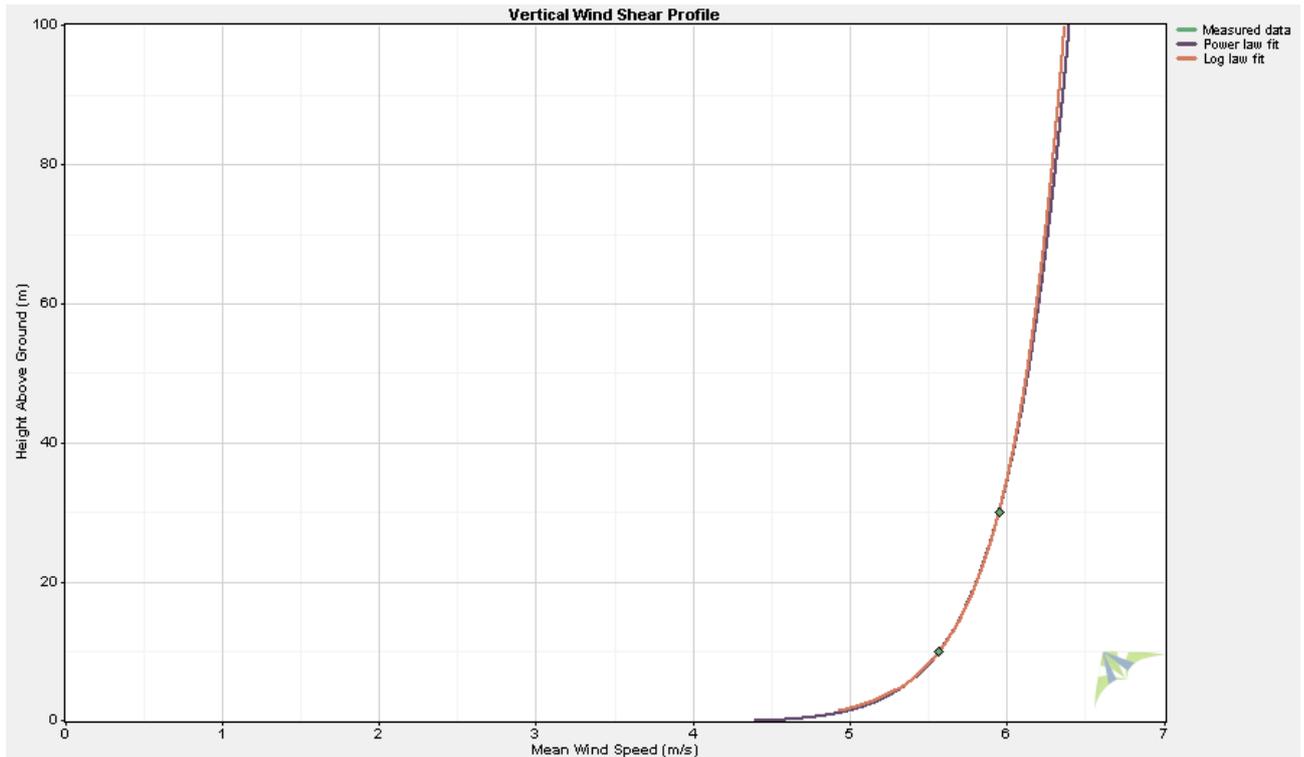


Fig. 9: Profilo verticale di velocità (wind shear)

Si può quindi 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):

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	21 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

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

Al fine di ridurre le incertezze di calcolo legate al processo di estrapolazione verticale della misura da quota anemometro ad altezza mozzo, 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 V52, 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: 2005-2016) per calcolare anno per anno la producibilità mensile e quindi definire il dato di producibilità annua storica.

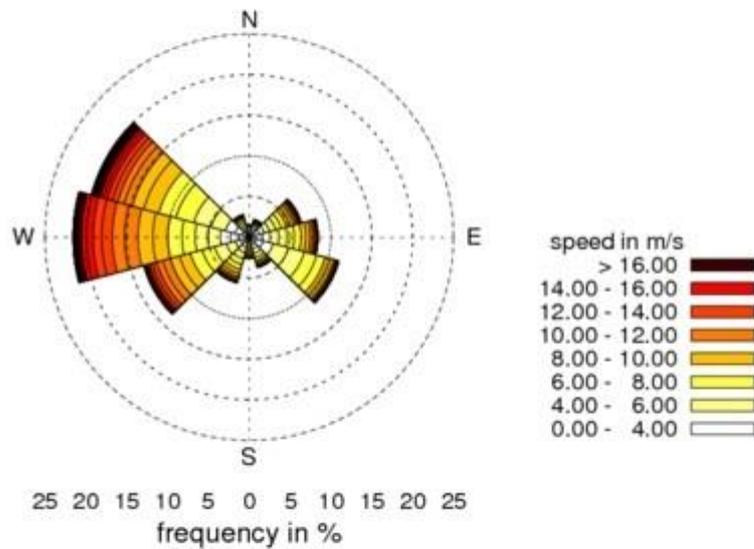
Ci si è avvalsi di tale input in ambiente di modellazione CFD, approcciando in modo critico la precedente estrapolazione verticale della velocità, da quota misura fino all'altezza mozzo desiderata, disponendo questa volta di un riferimento noto in corrispondenza dell'altezza mozzo degli aerogeneratori 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.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	22 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

site name	NU04-50		
filename	6286-NU04-50		
measurement period	01.01.03 - 31.12.16	# records = 289247	
position	x = 479244.0	y = 4510680.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.66	A = 6.91	average = 6.11
Frequency distribution			
◀ ▶ Sector: all Sectors			



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.63	1.22	1.79	1.75	1.85	1.56	1.92	1.97	2.01	2.09	1.62	1.84
A	3.33	3.81	6.07	5.70	5.24	4.75	6.41	6.26	7.74	8.90	7.73	5.54
freq	1.6	2.2	6.6	8.4	11.3	3.9	2.6	5.8	13.3	21.5	20.0	2.8
mean	2.83	3.56	5.24	4.97	4.59	4.20	5.41	5.48	6.82	7.60	7.05	4.62

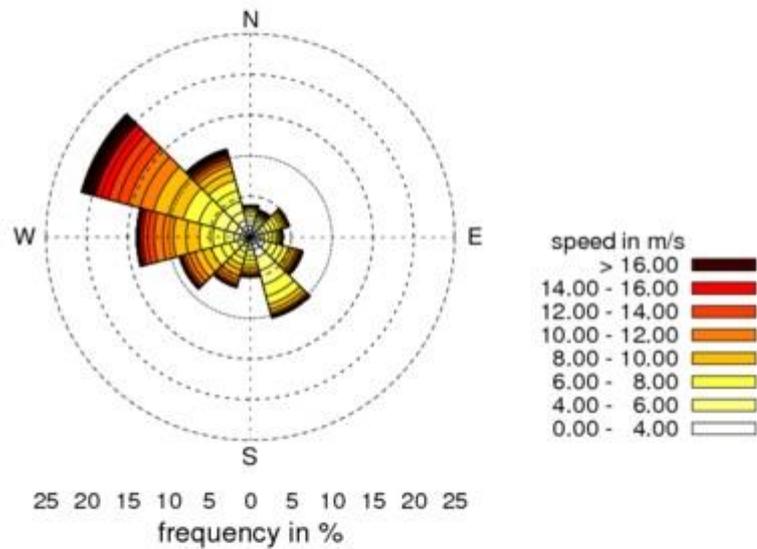
Fig. 10: Tabella di frequenze NU04-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	23 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

site name	PLG05-50		
filename	6233-PLG05-50_2		
measurement period	01.01.03 - 31.12.16	# records =	543138
position	x = 479993.0	y = 4508535.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.78	A = 7.36	average = 6.44

Frequency distribution

◀ ▶ Sector: all Sectors



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	1.23	1.28	1.88	1.76	1.69	1.89	2.05	2.46	2.38	2.46	2.06	1.58
A	3.99	4.46	5.61	5.51	6.11	5.39	6.36	7.70	7.74	8.64	9.75	7.08
freq	3.9	3.5	4.9	4.0	6.7	10.3	4.9	6.4	9.0	13.9	21.4	11.2
mean	3.58	4.09	4.78	4.69	5.32	4.69	5.48	6.70	6.76	7.57	8.59	6.30

Fig. 11: Tabella di frequenze PLG05-50m

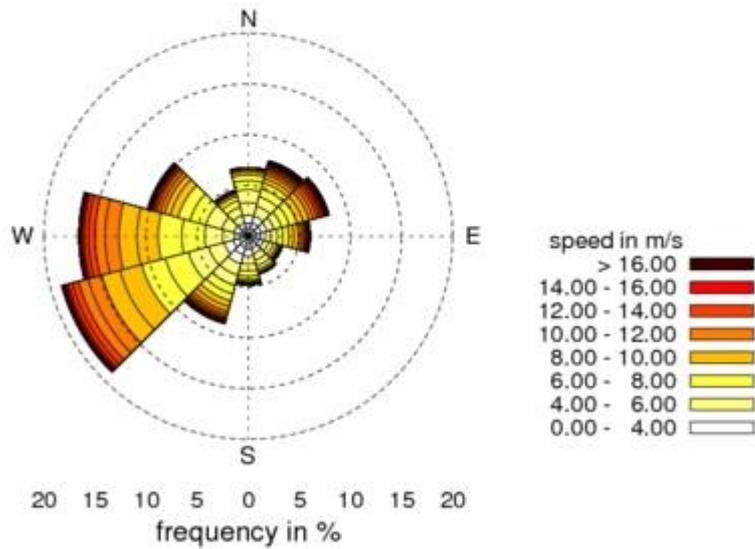
CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	24 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

site name	OS02-50		
filename	6230-OS02-50_2		
measurement period	01.01.03 - 31.12.16	# records = 557472	
position	x = 474171.0	y = 4506392.0	z (agl) = 50.0
Weibull param., average speed	k = 1.74	A = 6.51	average = 5.72

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	1.98	1.38	1.69	1.70	1.48	1.70	1.58	1.46	2.23	2.42	1.66	1.88
A	4.87	6.12	7.37	6.69	4.33	4.03	4.48	5.71	7.58	7.86	6.53	5.16
freq	6.8	7.7	8.2	6.1	3.5	3.8	4.8	8.9	18.9	16.6	10.2	4.7
mean	4.16	5.70	6.42	5.75	3.74	3.41	3.87	5.12	6.60	6.97	6.08	4.43

Fig. 12: Tabella di frequenze OS02-50m

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	25 di 49
PLG	ENG	REL	0026	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=112m e HH=114m).

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

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	26 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

4 CURVA DI POTENZA

La curva di potenza garantita fornita dal costruttore è valida per una densità dell'aria standard pari a $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$; risulta dunque necessario apportare una correzione in base alla densità prevista nelle zone dell'impianto, stimabili in funzione della quota media (c.a. 586 s.l.m. dell'area d'impianto). Si ipotizza quindi un valore di densità dell'aria media pari a $\rho = 1,150 \text{ kg/m}^3$.

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	27 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

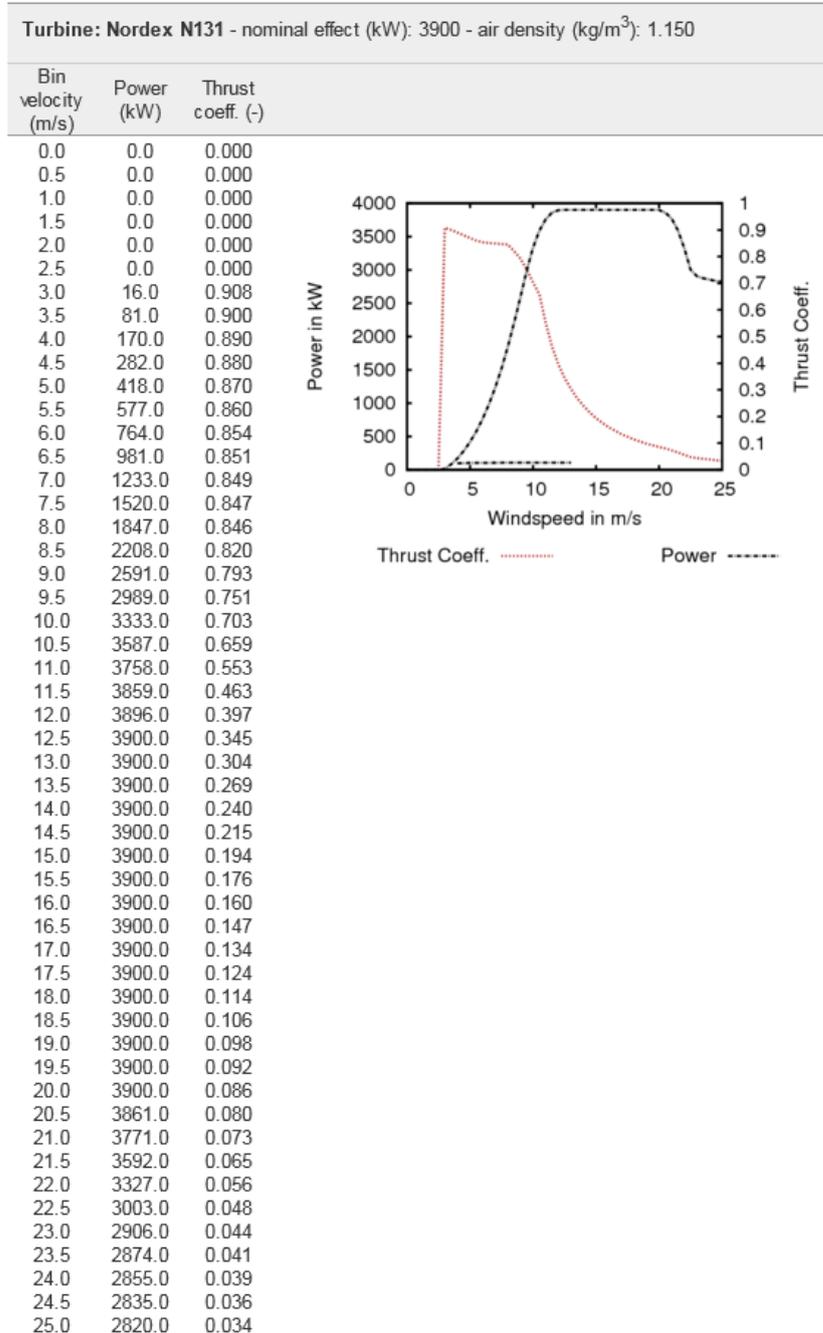


Fig. 13: Aerogeneratore Nordex N131 3.9 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	28 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

Turbine: Vestas V136 - nominal effect (kW): 4200 - air density (kg/m³): 1.150

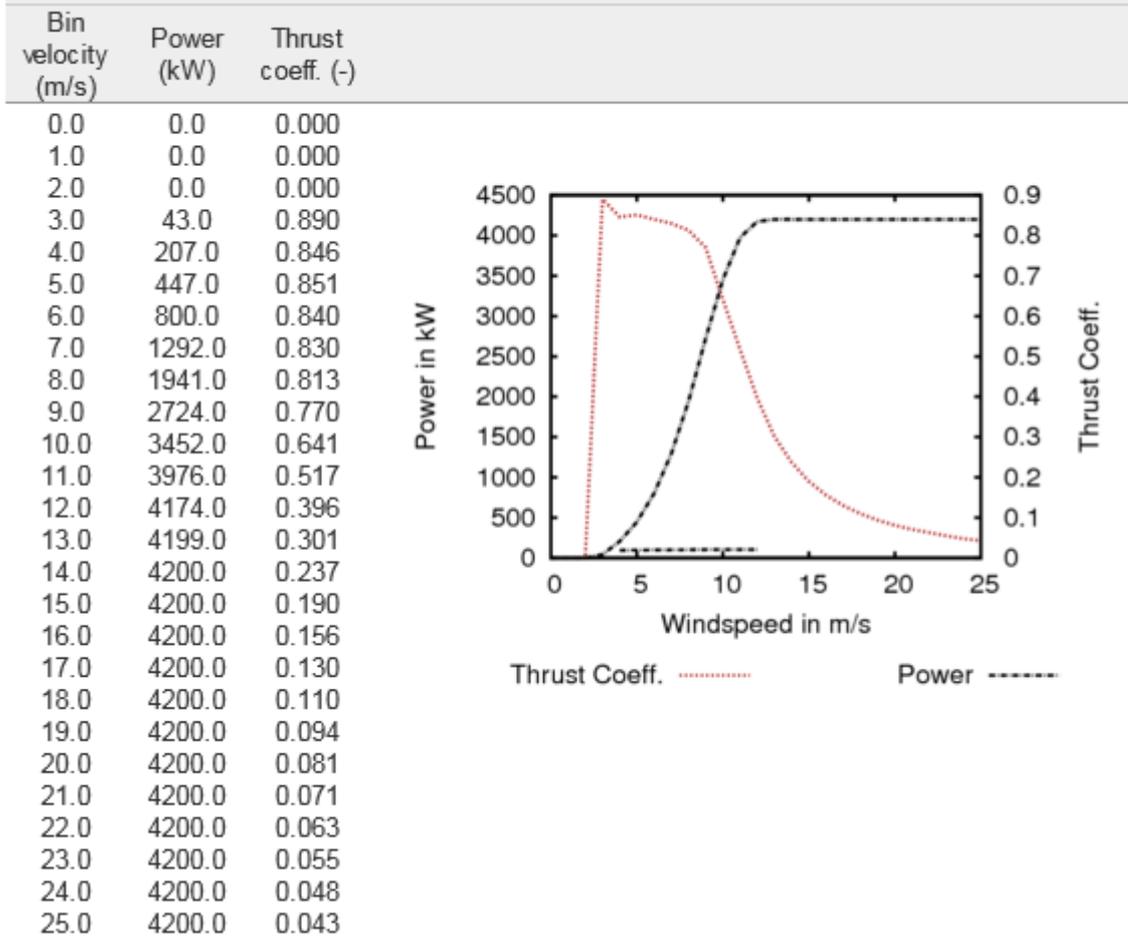


Fig. 14: Aerogeneratore V136 4.2 MW

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	29 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

Turbine: Siemens_Gamesa SG145 - nominal effect (kW): 4500 - air density (kg/m³): 1.150

Bin velocity (m/s)	Power (kW)	Thrust coeff. (-)
0.0	0.0	0.000
1.0	0.0	0.000
2.0	0.0	0.000
3.0	50.0	0.891
4.0	224.0	0.842
5.0	518.0	0.821
6.0	944.0	0.819
7.0	1535.0	0.818
8.0	2306.0	0.803
9.0	3183.0	0.736
10.0	3949.0	0.616
11.0	4383.0	0.479
12.0	4484.0	0.362
13.0	4496.0	0.277
14.0	4499.0	0.218
15.0	4500.0	0.176
16.0	4500.0	0.144
17.0	4500.0	0.120
18.0	4499.0	0.101
19.0	4495.0	0.086
20.0	4475.0	0.074
21.0	4423.0	0.064
22.0	4326.0	0.055
23.0	4185.0	0.047
24.0	4020.0	0.040
25.0	3856.0	0.035
26.0	3709.0	0.030
27.0	3593.0	0.025

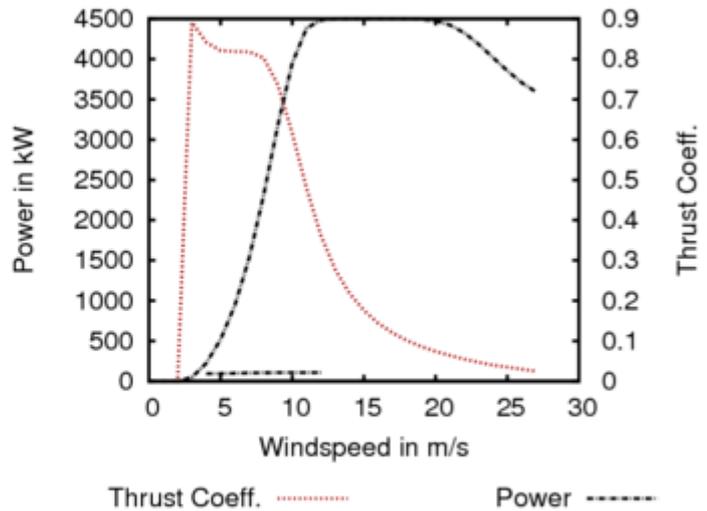


Fig. 15: Aerogeneratore SG145 4.5 MW

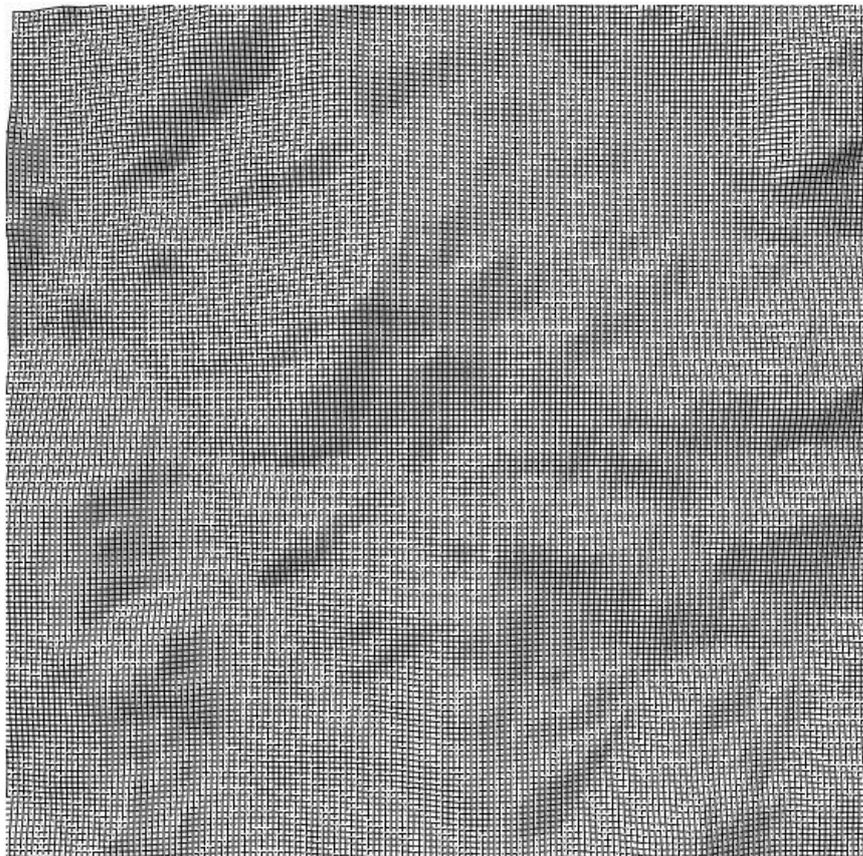
CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	30 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

5 APPLICAZIONE DEL MODELLO CFD

5.1 Il modello digitale del terreno

Lo studio delle caratteristiche eoliche del sito è stato affrontato con un modello CFD che, a fronte di un dominio di calcolo impostato utilizzando i dati di orografia relativi ad un DTM (Digital Terrain Model) con passo di 20 m, fornisce informazioni sul comportamento del vento nei vari settori di provenienza, nonché i profili verticali della velocità orizzontale nei punti più significativi, quali anemometri e/o aerogeneratori. Di seguito è riportato il dominio di calcolo.

Il DTM riportato di seguito è riferito al sito di Nulvi:

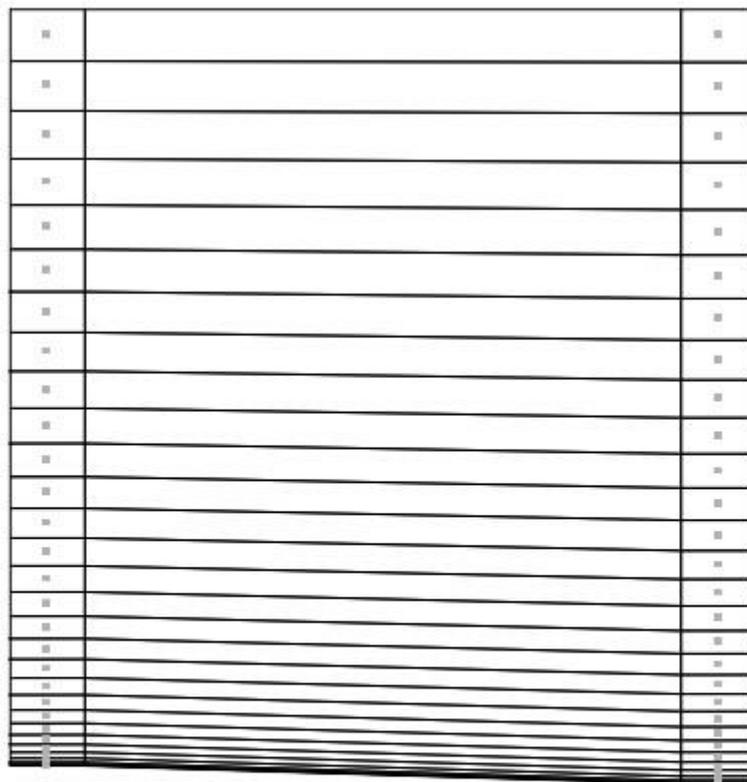


	x	y	z	total
Grid spacing (m)	32.0	32.0	Variable	-
Number of cells	157	156	20	489840

Fig. 16: Mesh orizzontale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	31 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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



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

Fig. 17: Discretizzazione verticale del dominio di calcolo

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	32 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

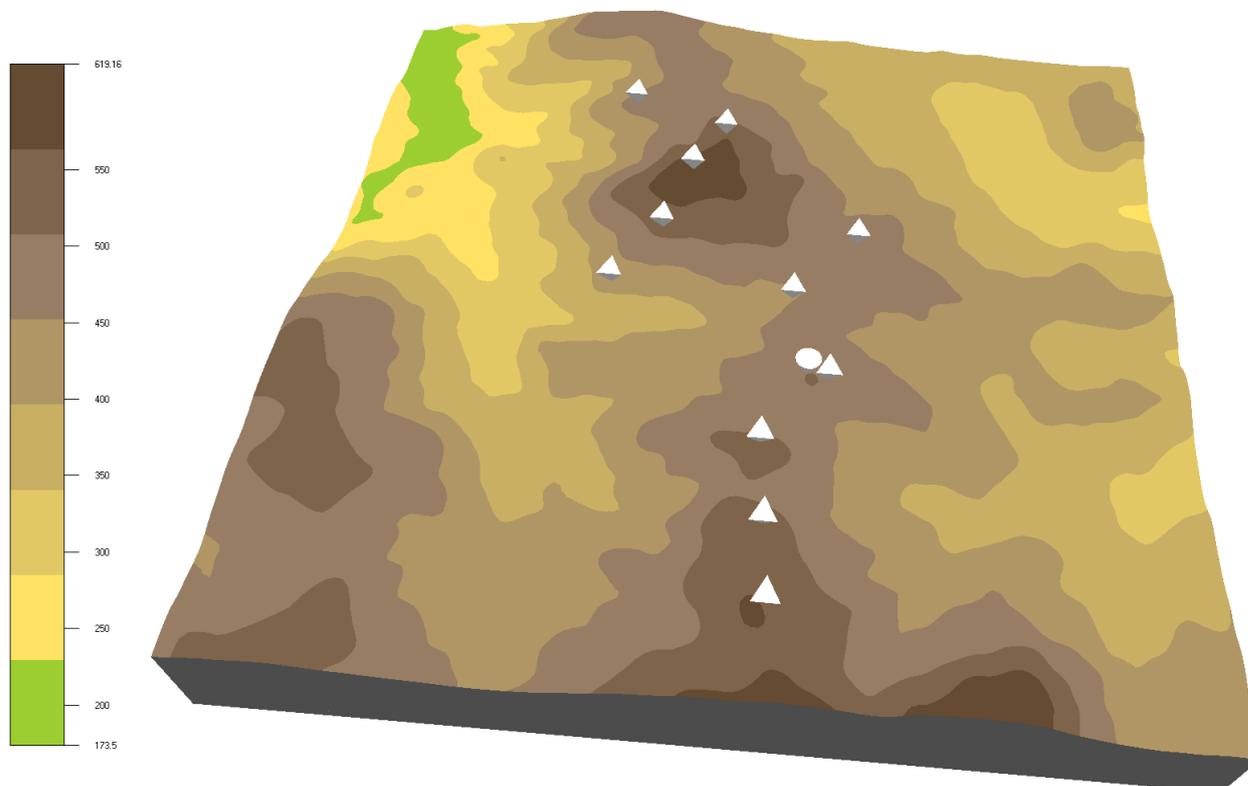


Fig. 18: Mappa 3D area di sito Nulvi

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	33 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

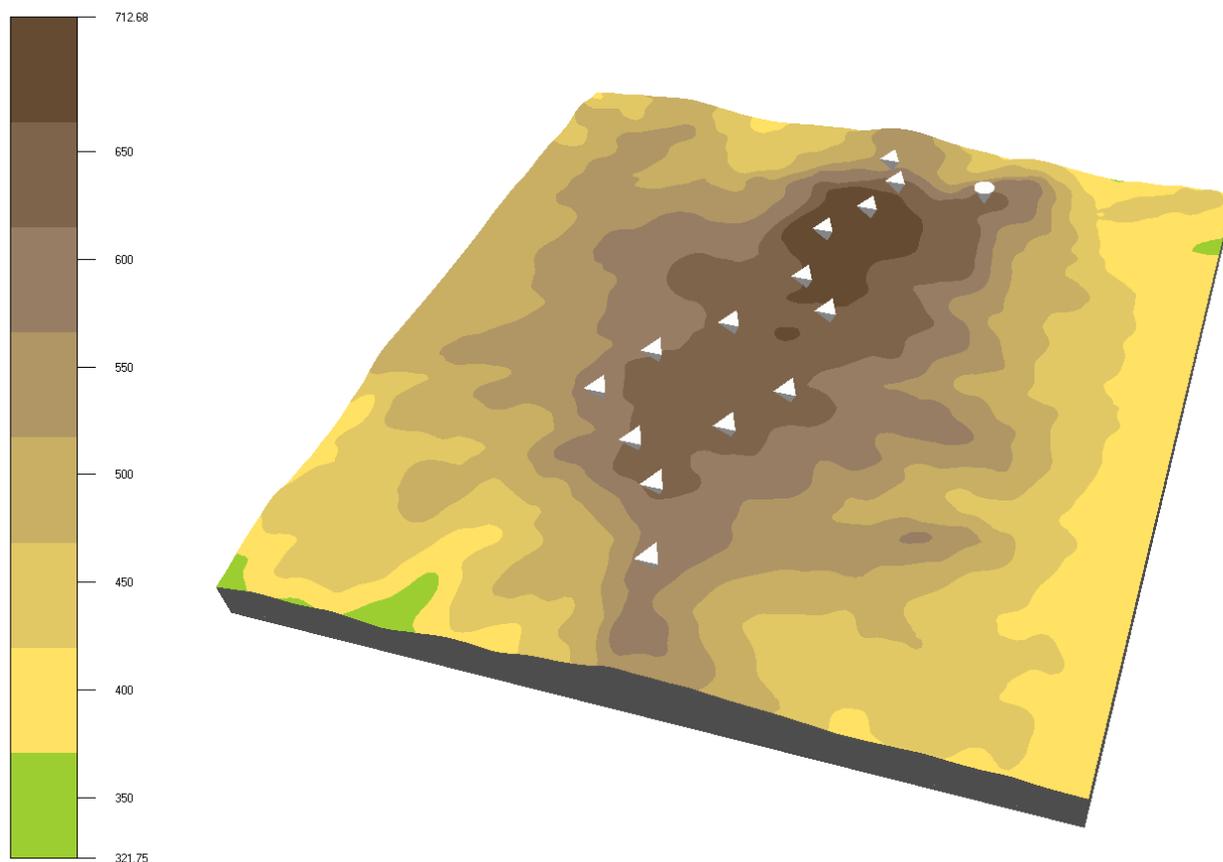


Fig. 19: Mappa 3D area di sito Ploaghe meridionale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	34 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

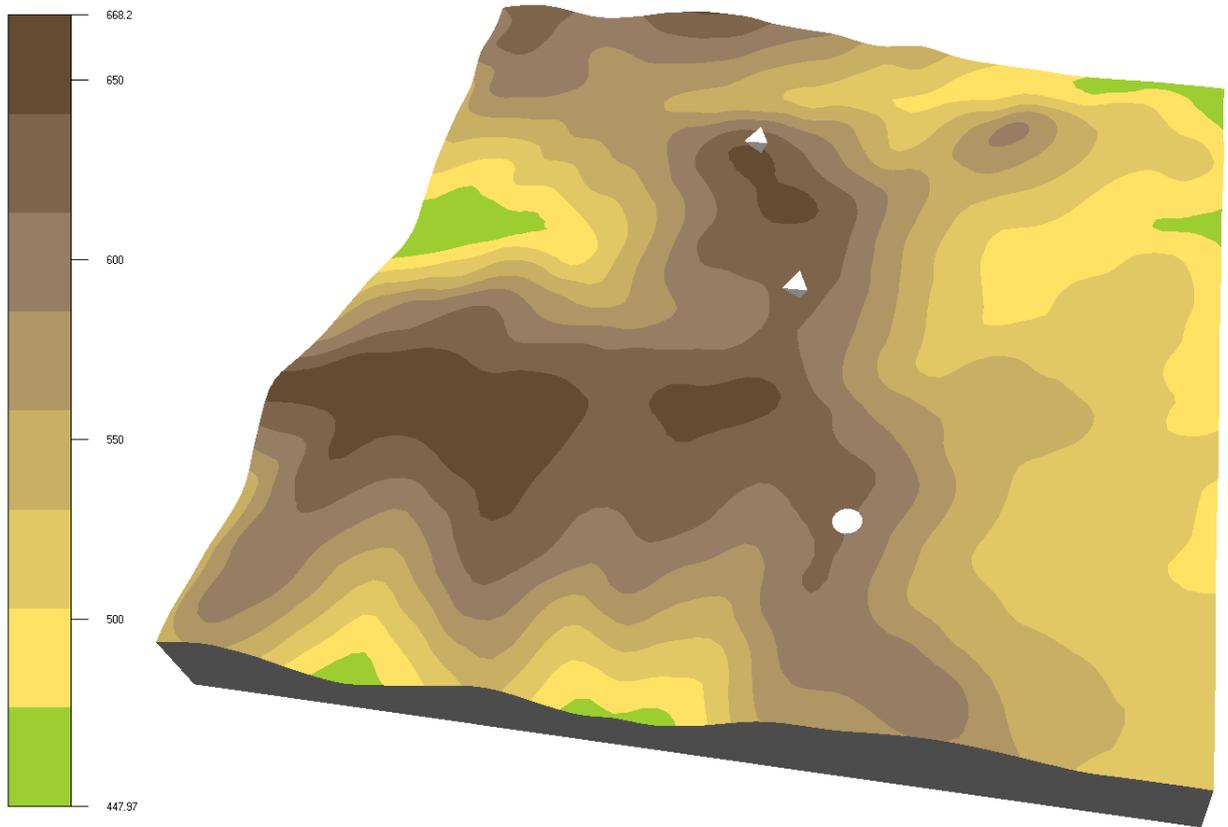


Fig. 20: Mappa 3D area di sito Ploaghe occidentale

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	35 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

5.2 La rugosità

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

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

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

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

A titolo di esempio è rappresentata la mappa di rugosità

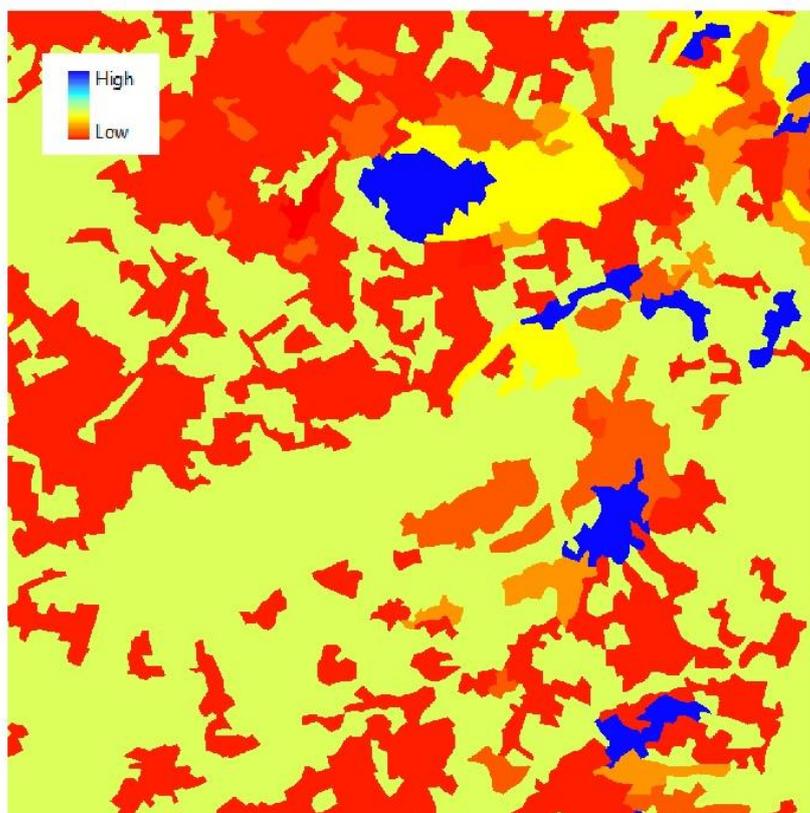


Fig. 21: Mappa di rugosità

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	36 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

5.3 La risorsa eolica

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

Di seguito si riportano le mappe di ventosità relative alle tre aree d'impianto, estrapolate in corrispondenza di una delle altezze mozzo di turbina (107.5m):

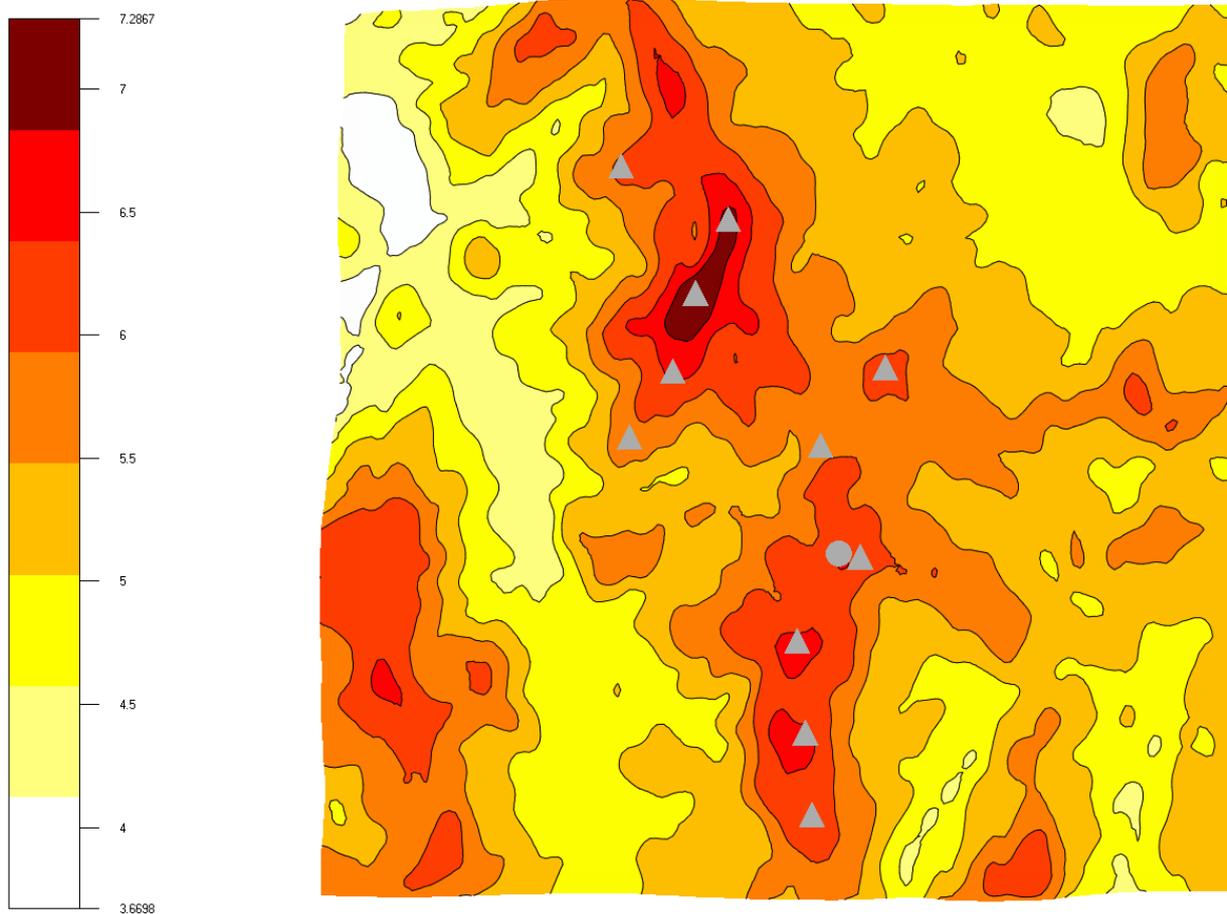


Fig. 22: Mappa di ventosità a 107.5 m s.l.s. (Nulvi)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	37 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

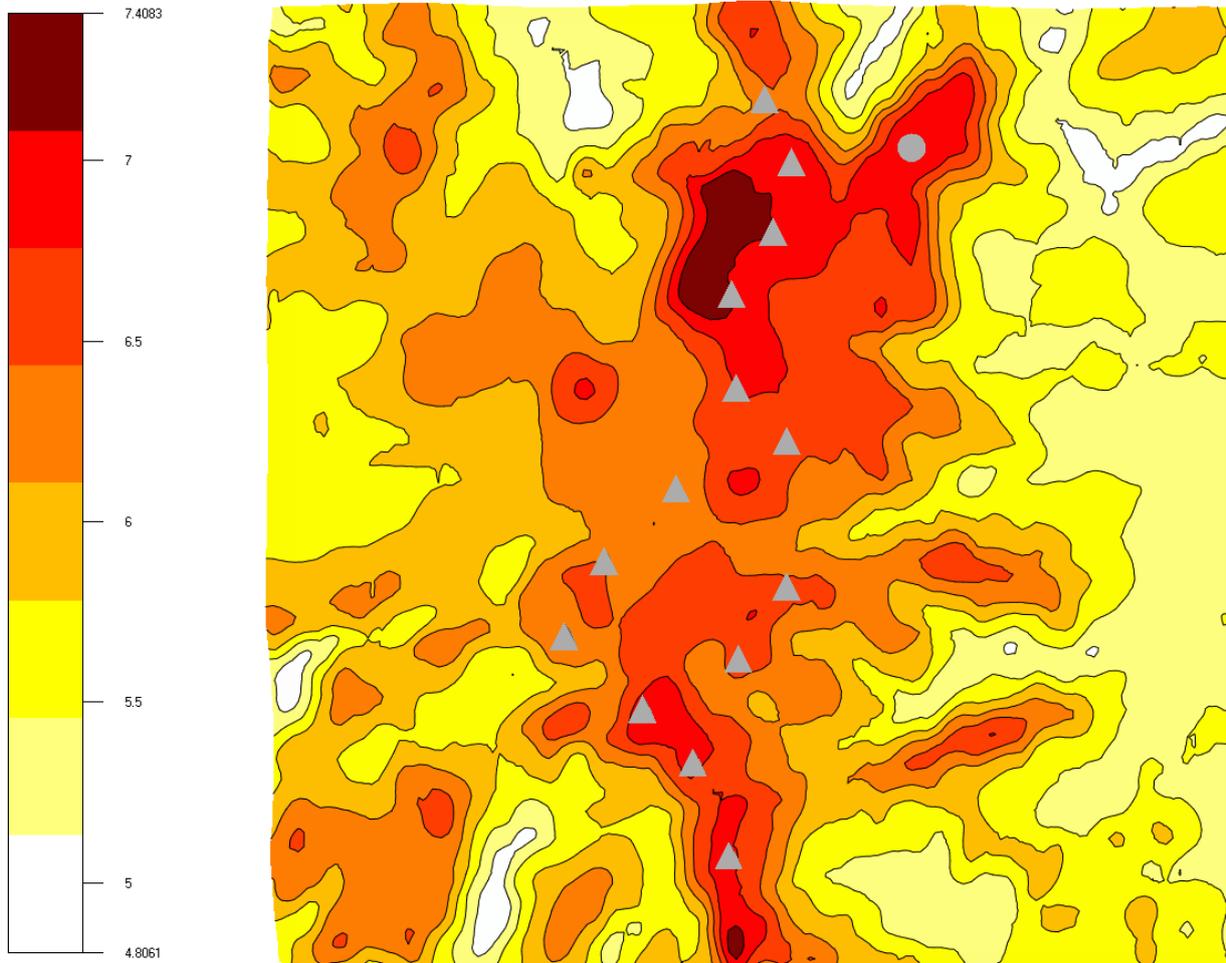


Fig. 23: Mappa di ventosità a 107.5 m s.l.s. (Ploaghe meridionale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	38 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

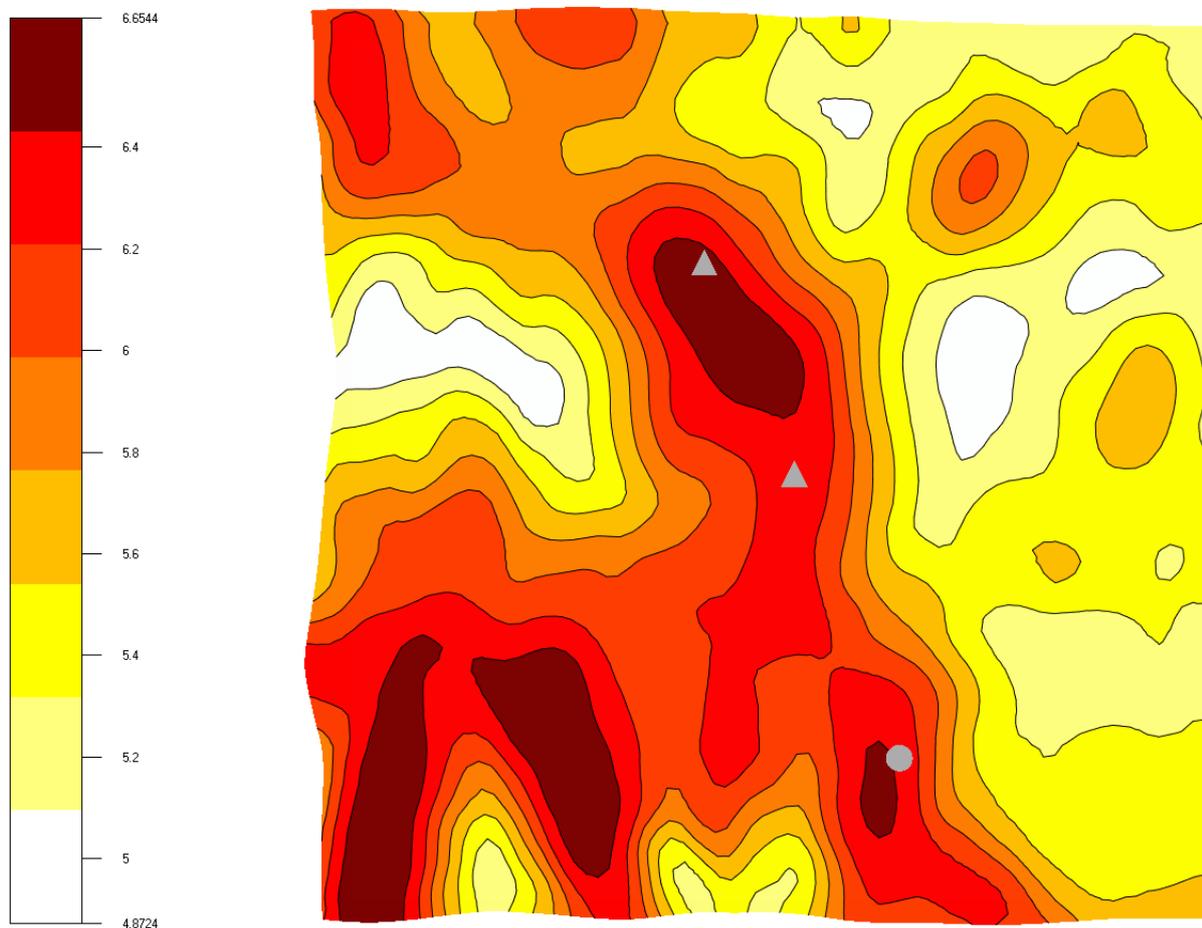


Fig. 24: Mappa di ventosità a 107.5 m s.l.s. (Ploaghe occidentale)

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	39 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

5.4 Risultati del modello

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

	N131
Numero WTG	27
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	325465
	V136
Numero WTG	27
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	345876
	SG145
Numero WTG	27
Produzione media lorda attesa (MWh/anno)	389986

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	40 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

N131					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-NU01	6,12	10789	6,06	10602	1,7%
R-NU02	6,84	12736	6,63	12001	5,8%
R-NU03	7,08	13373	6,92	12793	4,3%
R-NU04	6,47	11737	6,32	11203	4,5%
R-NU05	6,06	10640	5,84	9835	7,6%
R-NU06	5,75	9581	5,7	9428	1,6%
R-NU07	5,74	9688	5,54	8982	7,3%
R-NU08	6,19	10965	6,13	10734	2,1%
R-NU09	6,42	11573	6,39	11450	1,1%
R-PLG01	6,38	11434	6,35	11334	0,9%
R-PLG02	6,18	10899	6,17	10882	0,2%
R-PLG03	6,52	11962	6,43	11743	1,8%
R-PLG04	7,08	13544	6,92	12953	4,4%
R-PLG05	7,17	13778	7,04	13293	3,5%
R-PLG06	7,19	13834	7,07	13416	3,0%
R-PLG07	6,93	13098	6,74	12445	5,0%
R-PLG08	6,74	12548	6,5	11659	7,1%
R-PLG09	6,4	11569	6,23	10929	5,5%
R-PLG10	6,54	12024	6,4	11505	4,3%
R-PLG11	6,68	12426	6,41	11395	8,3%
R-PLG12	6,53	11986	6,45	11747	2,0%
R-PLG13	6,71	12494	6,39	11286	9,7%
R-PLG14	7,01	13395	6,7	12324	8,0%
R-PLG15	6,93	13210	6,75	12589	4,7%
R-PLG16	6,87	13019	6,81	12808	1,6%
R-PLG17	6,55	11832	6,53	11764	0,6%
R-PLG18	6,35	11333	6,32	11233	0,9%
Media	6,57	12054	6,43	11568	4,0%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	41 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

V136					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-NU01	6,12	11470	6,05	11286	1,6%
R-NU02	6,84	13578	6,63	12805	5,7%
R-NU03	7,08	14266	6,92	13687	4,1%
R-NU04	6,46	12495	6,32	11948	4,4%
R-NU05	6,05	11288	5,84	10497	7,0%
R-NU06	5,74	10185	5,69	10027	1,6%
R-NU07	5,73	10275	5,53	9557	7,0%
R-NU08	6,18	11668	6,12	11441	1,9%
R-NU09	6,41	12334	6,38	12198	1,1%
R-PLG01	6,37	12181	6,34	12081	0,8%
R-PLG02	6,17	11575	6,16	11557	0,1%
R-PLG03	6,51	12692	6,42	12470	1,7%
R-PLG04	7,07	14390	6,92	13775	4,3%
R-PLG05	7,16	14643	7,01	14094	3,7%
R-PLG06	7,18	14706	7,06	14285	2,9%
R-PLG07	6,92	13914	6,72	13236	4,9%
R-PLG08	6,72	13310	6,47	12366	7,1%
R-PLG09	6,39	12244	6,21	11604	5,2%
R-PLG10	6,53	12740	6,38	12168	4,5%
R-PLG11	6,67	13183	6,4	12115	8,1%
R-PLG12	6,51	12704	6,44	12460	1,9%
R-PLG13	6,7	13262	6,37	11979	9,7%
R-PLG14	7	14231	6,69	13127	7,8%
R-PLG15	6,92	14038	6,73	13371	4,8%
R-PLG16	6,86	13833	6,79	13584	1,8%
R-PLG17	6,55	12610	6,53	12538	0,6%
R-PLG18	6,35	12060	6,32	11962	0,8%
Media	6,56	12810	6,42	12304	3,9%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	42 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

SG145					
	Lordo		Netto scia		Perdite scia
	v (m/s)	MWh/y	v (m/s)	MWh/y	
R-NU01	6,19	13213	6,11	12962	1,9%
R-NU02	6,93	15528	6,72	14657	5,6%
R-NU03	7,17	16311	7,01	15613	4,3%
R-NU04	6,53	14316	6,37	13647	4,7%
R-NU05	6,11	12972	5,87	11950	7,9%
R-NU06	5,79	11745	5,71	11466	2,4%
R-NU07	5,77	11787	5,55	10910	7,4%
R-NU08	6,24	13389	6,13	12892	3,7%
R-NU09	6,48	14113	6,44	13936	1,3%
R-PLG01	6,44	13941	6,41	13828	0,8%
R-PLG02	6,23	13255	6,22	13234	0,2%
R-PLG03	6,45	14137	6,37	13893	1,7%
R-PLG04	7,02	16032	6,82	15172	5,4%
R-PLG05	7,11	16304	6,97	15701	3,7%
R-PLG06	7,13	16374	7	15865	3,1%
R-PLG07	6,87	15495	6,65	14619	5,7%
R-PLG08	6,67	14821	6,34	13443	9,3%
R-PLG09	6,32	13637	6,15	12909	5,3%
R-PLG10	6,48	14219	6,32	13568	4,6%
R-PLG11	6,61	14712	6,32	13385	9,0%
R-PLG12	6,46	14198	6,35	13769	3,0%
R-PLG13	6,65	14813	6,32	13362	9,8%
R-PLG14	6,96	15888	6,65	14645	7,8%
R-PLG15	6,88	15657	6,66	14781	5,6%
R-PLG16	6,82	15434	6,72	15055	2,5%
R-PLG17	6,53	14162	6,5	14078	0,6%
R-PLG18	6,32	13535	6,29	13421	0,8%
Media	6,56	14444	6,41	13806	4,4%

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	43 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

6 ANALISI DELLE PERDITE E DELLE INCERTEZZE

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

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

Perdite per mancata disponibilità di sistema (WTG + BOS) dell'impianto	3.00%
Perdite elettriche (cavidotto MT – consegna in AT)	3.17%
Perdite varie (basate sull'esperienza, in funzione dell'indice di turbolenza del vento)	1.50%
Perdite varie (basate sull'esperienza delle condizioni climatiche)	0.20%
Perdite dovute al rumore	1.00%
Totale perdite escluso scie	8.59%

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

	N131
Numero WTG	27
Produzione netta WTG - P50 (MWh/anno)	10574
	V136
Numero WTG	27
Produzione netta WTG - P50 (MWh/anno)	11247
	SG145
Numero WTG	27
Produzione netta WTG - P50 (MWh/anno)	12620

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	44 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

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

N131	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-NU01	6,12	2485
R-NU02	6,84	2813
R-NU03	7,08	2998
R-NU04	6,47	2626
R-NU05	6,06	2305
R-NU06	5,75	2210
R-NU07	5,74	2105
R-NU08	6,19	2516
R-NU09	6,42	2684
R-PLG01	6,38	2656
R-PLG02	6,18	2551
R-PLG03	6,52	2752
R-PLG04	7,08	3036
R-PLG05	7,17	3116
R-PLG06	7,19	3144
R-PLG07	6,93	2917
R-PLG08	6,74	2733
R-PLG09	6,40	2562
R-PLG10	6,54	2697
R-PLG11	6,68	2671
R-PLG12	6,53	2753
R-PLG13	6,71	2645
R-PLG14	7,01	2889
R-PLG15	6,93	2951
R-PLG16	6,87	3002
R-PLG17	6,55	2757
R-PLG18	6,35	2633
Media	6,57	2711

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	45 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

V136	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-NU01	6,12	2456
R-NU02	6,84	2787
R-NU03	7,08	2979
R-NU04	6,46	2600
R-NU05	6,05	2284
R-NU06	5,74	2182
R-NU07	5,73	2080
R-NU08	6,18	2490
R-NU09	6,41	2655
R-PLG01	6,37	2629
R-PLG02	6,17	2515
R-PLG03	6,51	2714
R-PLG04	7,07	2998
R-PLG05	7,16	3067
R-PLG06	7,18	3109
R-PLG07	6,92	2881
R-PLG08	6,72	2691
R-PLG09	6,39	2525
R-PLG10	6,53	2648
R-PLG11	6,67	2637
R-PLG12	6,51	2712
R-PLG13	6,70	2607
R-PLG14	7,00	2857
R-PLG15	6,92	2910
R-PLG16	6,86	2956
R-PLG17	6,55	2729
R-PLG18	6,35	2603
Media	6,56	2678

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	46 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

SG145	Velocità del vento a quota mozzo (m/s)	Producibilità netta specifica P50 (ore equivalenti)
R-NU01	6,19	2633
R-NU02	6,93	2977
R-NU03	7,17	3171
R-NU04	6,53	2772
R-NU05	6,11	2427
R-NU06	5,79	2329
R-NU07	5,77	2216
R-NU08	6,24	2619
R-NU09	6,48	2831
R-PLG01	6,44	2809
R-PLG02	6,23	2688
R-PLG03	6,45	2822
R-PLG04	7,02	3082
R-PLG05	7,11	3189
R-PLG06	7,13	3223
R-PLG07	6,87	2969
R-PLG08	6,67	2731
R-PLG09	6,32	2622
R-PLG10	6,48	2756
R-PLG11	6,61	2719
R-PLG12	6,46	2797
R-PLG13	6,65	2714
R-PLG14	6,96	2975
R-PLG15	6,88	3002
R-PLG16	6,82	3058
R-PLG17	6,53	2860
R-PLG18	6,32	2726
Media	6,56	2804

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	47 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

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

	N131
Numero WTG	27
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	285497
	V136
Numero WTG	27
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	303672
	SG145
Numero WTG	27
Produzione netta P50 dell'intero impianto (MWh/anno)	340730

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	48 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

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

Questo tipo di analisi, individua tre differenti modelli di macchina, per ognuna delle quali viene determinata la relativa incertezza di calcolo.

	N131	V136	SG145
incertezza sulla storicizzazione del sito	4,2%	4,2%	4,2%
incertezza sul processo di micrositing	14,4%	14,1%	13,5%
incertezza sulla misura della curva di potenza	5,0%	5,0%	5,0%
Incetenza complessiva	15,8%	15,5%	15,0%

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

N131 3.9 HH114	GWh/anno	h eq
P50	285,5	2711
P62.5	271,2	2575
P75	255,1	2423
P90	227,7	2163

V136 4.2 HH112	GWh/anno	h eq
P50	303,7	2678
P62.5	288,7	2545
P75	271,8	2397
P90	243,2	2144

CODICE DOCUMENTO					OGGETTO DELL' ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.	NULVI-PLOAGHE (SS) Valutazione risorsa eolica e analisi di producibilità	49 di 49
PLG	ENG	REL	0026	0		

SG145 4.5 HH107.5	GWh/anno	h eq
P50	340,7	2804
P62.5	324,4	2670
P75	306,2	2520
P90	275,2	2265