

2022

# Realizzazione di un impianto eolico della potenza di 995 kW

COMUNE DI NULVI

RELAZIONE ANEMOLOGICA



**Sommario**

1	PREMESSA .....	3
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....	4
3	CARATTERIZZAZIONE EOLICA DEL SITO DI INSTALLAZIONE.....	5
4	CALCOLO DELLA VELOCITA' MEDIA DEL VENTO E DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODUCIBILE.....	10
5	CONCLUSIONI.....	16

## 1 PREMESSA

Questa relazione fornisce la valutazione delle risorse eoliche e la produzione annuale di energia (AEP) per il progetto in questione.

Lo studio della ventosità del sito rappresenta l'aspetto più delicato e importante di tutto il progetto di un impianto eolico in quanto tale studio influenza la scelta dell'aerogeneratore, la sua ubicazione e fornisce importanti indicazioni in merito alla producibilità dell'impianto e pertanto alla redditività e alla sostenibilità dell'investimento.

L'elaborazione di dati rilevati è necessaria per la determinazione dell'AEP (Annual Energy Production), per l'ottimizzazione dell'impianto, per determinare gli indicatori sintetici delle caratteristiche anemologiche, quali la velocità media, il parametro di forma  $k$  della distribuzione di Weibull delle velocità del vento e il parametro di rugosità  $\alpha$  che descrive come varia la velocità del vento al variare della quota dal suolo.

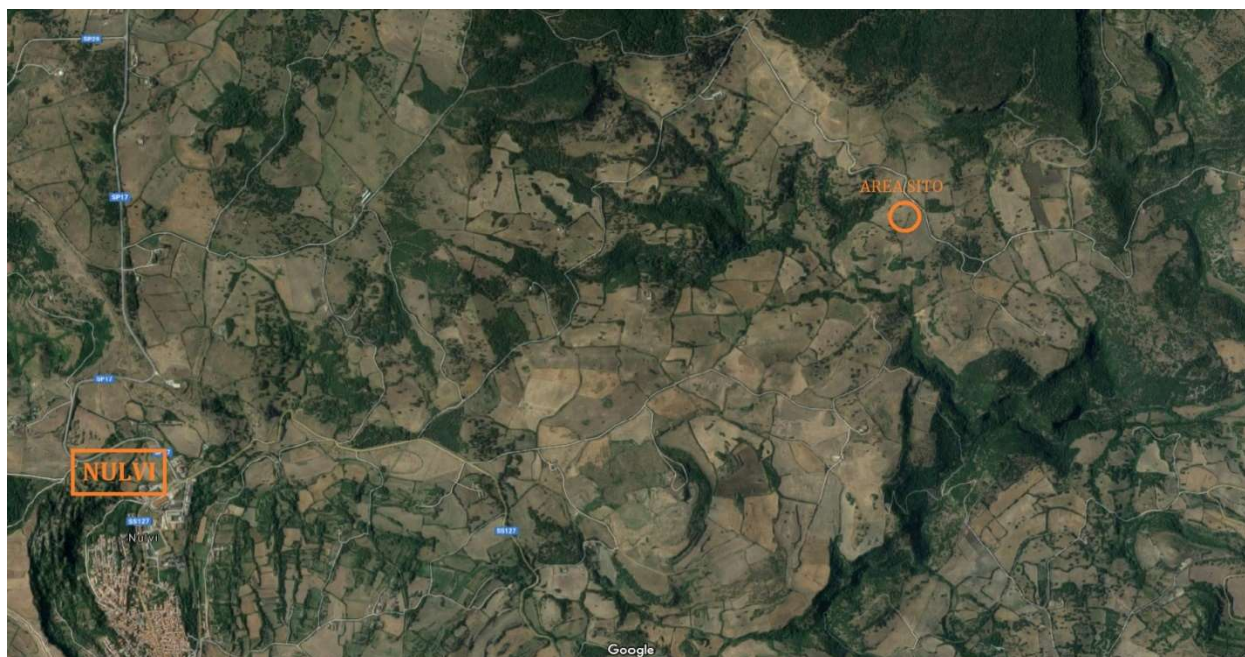
Nello specifico caso sono state analizzate diverse fonti, che, conducendo tutte alle medesime conclusioni in merito alla risorsa di vento che caratterizza l'area di progetto sono state considerate attendibili.

## 2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Il terreno interessato dalla realizzazione dell'impianto eolico, si trova in Comune di Nulvi - località 'Sos Cantareddos', sito a circa 4,8 km in direzione nord est rispetto a Nulvi.

Il terreno è accessibile tramite viabilità comunale.

Al Catasto Terreni il terreno è identificato al foglio 13 particella 35.



*Figura 1- Inquadramento territoriale del sito di installazione*

### 3 CARATTERIZZAZIONE EOLICA DEL SITO DI INSTALLAZIONE

La scelta dell'esatto posizionamento dell'aerogeneratore, deve essere valutata con estrema cura in quanto da essa dipende fortemente la quantità di energia che la macchina riesce a produrre. La turbina va ubicata, qualora possibile, su un terreno aperto e regolare e il più possibile lontana da ostacoli che possono interferire con il flusso del vento, in modo da sfruttare al massimo la produttività dell'aerogeneratore.

Nel caso in cui l'aerogeneratore sia impiegato in un contesto rustico o sub-urbano si può considerare come regola empirica che le interferenze aerodinamiche create da un ostacolo possano estendersi sul terreno per distanze che vanno da 2 a 15 volte l'altezza dell'ostacolo stesso.

Per quanto riguarda il posizionamento altimetrico, la zona di turbolenza può estendersi in prossimità dell'ostacolo fino a quote circa doppie rispetto alla sua altezza, pertanto si dovrebbe scegliere una torre la cui altezza sia tale da portare la turbina al di fuori di tale zona di turbolenza.

La valutazione della risorsa eolica spazia dalla stima globale dell'energia media contenuta nel vento su vasta area - a cui si attribuisce il termine di accertamento regionale - alla previsione dell'energia media annua prodotta dallo specifico aerogeneratore, collocato in un determinato sito - che si definisce caratterizzazione eolica del sito.

Le informazioni necessarie per la caratterizzazione eolica del sito richiedono applicazioni e/o approfondimenti che fanno uso dei concetti generali di analisi topografica e di climatologia eolica regionale.

Per poter calcolare gli effetti della topografia sul vento, è necessario descrivere sistematicamente le caratteristiche di quest'ultima.

- RUGOSITA' DEL TERRENO

Con il concetto di rugosità del terreno, si fa riferimento all'azione collettiva esercitata dalla superficie e dagli ostacoli che conduce ad un rallentamento complessivo del vento in prossimità della turbina; vegetazione ed edifici sono esempi di elementi topografici che contribuiscono alla rugosità. Elementi orografici come colline, scogliere, scarpate ed alture esercitano una ulteriore influenza sul vento. Vicino alla sommità o alla cresta di queste conformazioni il vento subirà un'accelerazione, mentre alla loro base, o nelle valli, verrà decelerato.

In ogni situazione che si presenti, sono tre in genere gli effetti principali della topografia sul vento: barriere, rugosità ed orografia. Quindi, in generale, è necessario specificare gli ostacoli che fanno da barriera in prossimità del sito, la rugosità del terreno circostante e l'orografia della zona.

La rugosità di una particolare superficie è determinata dalla dimensione e dalla distribuzione degli

elementi di rugosità che essa presenta; per le superfici di terreno, elementi tipici sono la vegetazione, le aree coltivate e le caratteristiche del suolo. Le diverse superfici sono generalmente suddivise in quattro tipi, ciascuno caratterizzato da propri elementi di rugosità. Ad ogni tipo di superficie è associata una classe di rugosità.

CLASSE RUGOSITA'	DESCRIZIONE
0	Superfici d'acqua: questa classe comprende il mare, i laghi, i fiordi.
1	Aree aperte con pochi frangivento. Il terreno appare aperto alla vista ed è piatto o dolcemente ondulato. Possono essere presenti fattorie isolate con poche file di alberi ed arbusti che interrompono l'omogeneità del paesaggio.
2	Zona di campagna con frangivento, separati tra loro mediamente di oltre 1000 metri, con alcune aree edificate sparse. Grandi aree libere in mezzo a molto frangivento. Terreno piatto oppure ondulato.
3	Distretti urbani, foreste e zone di campagna con molti frangivento ( $z_0=0.40\text{m}$ ) con una distanza media di qualche centinaio di metri.

*Tabella 1 - Classe di rugosità di un terreno*



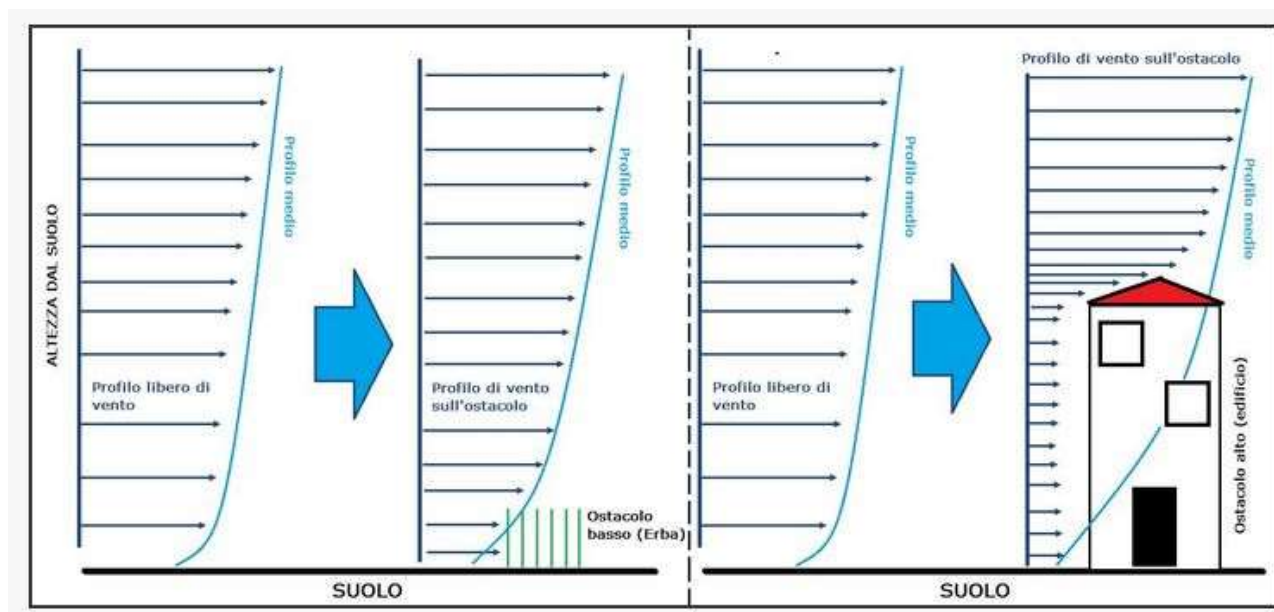


Figura 2 - Comportamento del vento rispetto agli ostacoli

Nella figura soprastante si può osservare l'andamento del vento al variare dell'altezza quando incontra un piccolo ostacolo (a sinistra) e uno grande (a destra), con la linea blu è indicato il profilo di vento medio, la lunghezza delle linee è proporzionale all'intensità del vento.

La figura ci indica cosa succede quando il vento trova un ostacolo: se l'ostacolo è basso le forze di frizione che il terreno esercita sulla massa in movimento saranno minori e il profilo del vento si addenserà poco in altezza, ma rimarrà piuttosto uniforme; al contrario se l'ostacolo è importante le forze di frizione del vento sono alte, esse causano nella regione a contatto con l'ostacolo zone di flusso turbolento che hanno l'effetto di addensare il vento negli strati alti. Quando le asperità del terreno sono importanti, il profilo di vento medio sarà un profilo in forte crescita all'aumentare dell'altitudine.

- LA SCABREZZA - ROUGHNES

Quando si parla di "roughness coefficient" nell'eolico ci si riferisce alla misura di scabrezza del terreno prendendo la quota zero del suolo come riferimento. Misurare questo parametro geometricamente è un'operazione particolarmente complicata, che quasi mai viene fatta nonostante la grande influenza che questo parametro ricopre nella stima della risorsa ventosa.

Per ovviare a questa impossibilità sono state definite delle tavole di riferimento che riportano i valori scabrezza al variare del tipo di terreno presente.

Questa misura nelle applicazioni eoliche è definita come l'area frontale dell'elemento che contrasta il vento diviso per l'area che l'ostacolo stesso occupa; solitamente è indicata con la lettera  $z_0$  ed è espressa

in metri.

CLASSE	m	CARATTERISTICHE DEL TERRENO
0	0.0002	Superficie di acqua ferma
0.5	0.0024	Terreni completamente aperti con superficie liscia /piste di aeroporto, prati falciati, ecc.)
1	0.03	Aree agricole aperte senza recinzioni e siepi e con edifici molto radi; colline a declivio dolce
1.5	0.055	Terreni agricoli con qualche casa e filari di recinzione alti 8 m a distanza di circa 1250 m
2	0.1	Terreni agricoli con qualche casa e filari di recinzione alti 8 m a distanza di circa 500 m
2.5	0.2	Terreni agricoli con molte case, arbusti e piante, o filari di recinzione di 8 m a distanza di circa 250 m
3	0.4	Villaggi, piccoli paesi, terreni agricoli con molte o alte siepi, foreste e terreni molto scabri ed irregolari
3.5	0.8	Grandi città con edifici alti
4	1.6	Metropoli con edifici alti e grattacieli

Tabella 2- Indici di scabrezza per diverse tipologie di terreno

## • VARIAZIONE DEL VENTO CON L'ALTEZZA DAL SUOLO

Gli effetti delle variazioni di altitudine del terreno sul profilo del vento sono stati in gran parte dimostrati con evidenza dai risultati ottenuti nelle campagne di misura internazionali.

Vediamo quali sono le più comuni leggi per calcolare la variazione del vento al variare dell'altezza di misura:

### Legge Logaritmica

Nella sua estensione più comunemente usata la legge logaritmica è espressa come:

$$\frac{U_z}{U_{zr}} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

che è appunto la formula usata per calcolare la velocità del vento a una quota  $z$ , partendo da



una misura di velocità  $z_r$  su un terreno con indice di roughness  $z_0$ .

#### Legge di Potenza

La legge di potenza è una legge di derivazione puramente empirica, che si usa soprattutto quando l'orografia del terreno e la scabrezza non sono omogenee, poiché il terreno presenta molti dislivelli e asperità.

Nella sua estensione più comunemente usata la legge di potenza è espressa come:

$$\frac{U_z}{U_{z_r}} = \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha$$

dove con  $U_z$  si indica la velocità del vento all'altezza  $z$  da trovare, con  $U_{z_r}$  la velocità del vento misurata alla quota  $z_r$  di riferimento. Il coefficiente  $\alpha$  detto esponente di Helmann dipende da numerose variabili; esistono diverse correlazioni fra  $\alpha$  ed altri parametri fisici fra cui la scabrezza.

Sono state costituite, anche per il coefficiente  $\alpha$ , delle tabelle dipendenti dal tipo di terreno e dalla situazione metrologica della massa d'aria che lo sovrasta.

TIPOLOGIA DI TERRENO	Coefficiente di Helmann $\alpha$
Aria instabile su mare aperto	0,06
Aria neutra su mare aperto	0,1
Aria instabile su costa pianeggiante	0,16
Aria stabile su mare aperto	0,27
Aria instabile su abitazioni	0,27
Aria neutra su area abitata	0,34
Aria stabile su costa pianeggiante	0,4
Aria stabile su area abitata	0,6

*Tabella 3 - Coefficiente di Helmann*

#### 4 CALCOLO DELLA VELOCITA' MEDIA DEL VENTO E DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODUCIBILE

I dati della curva di potenza dichiarati da REN Electron dell'aerogeneratore sono i seguenti:

**Wind turbine power curve**

V @ HH [m/s]	REN 995 4R [kW]
1	0
2	0
3	2.96
4	32.37
5	56.94
6	106.24
7	201.68
8	315.59
9	457.70
10	607.62
11	745.44
12	868.50
13	955.64
14	995
15	995
16	995
17	995
18	995
19	995
20	995
21	995
22	995
23	995
24	995
25	995

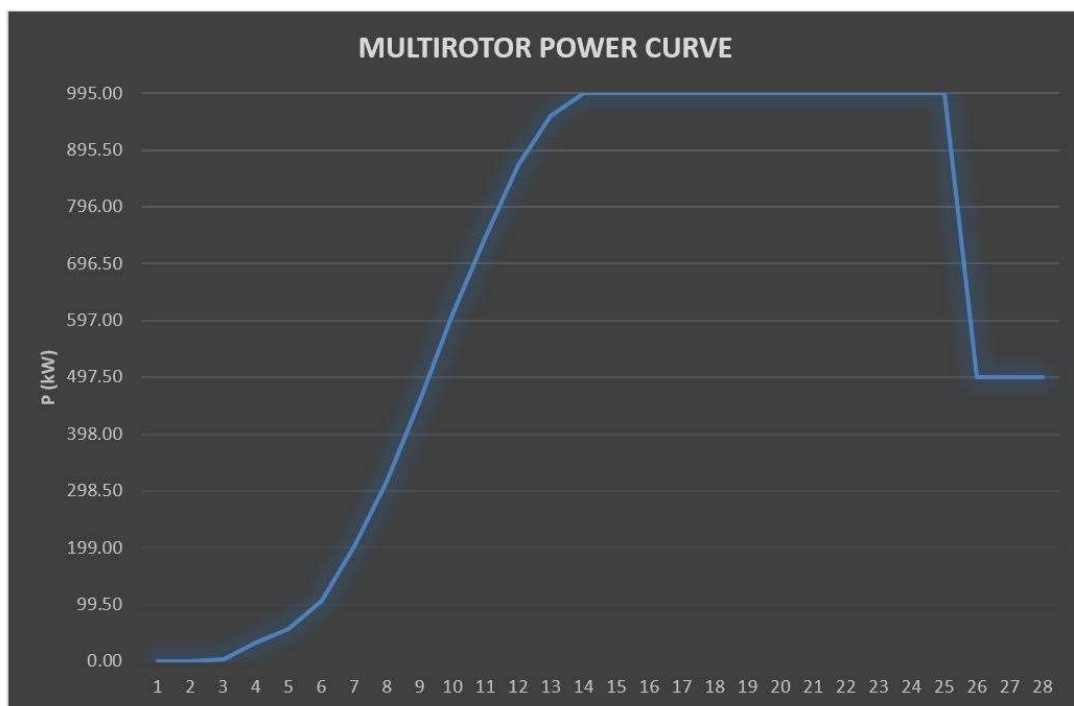


Figura 3 - Curva di potenza della turbina eolica

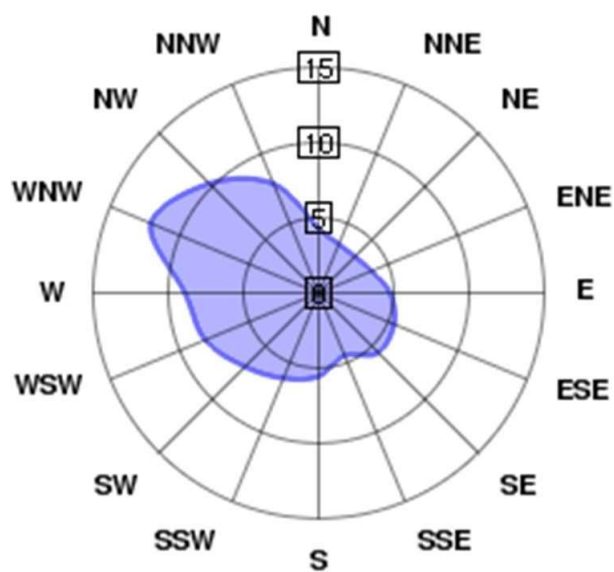


Figura 4 - Rosa dei venti

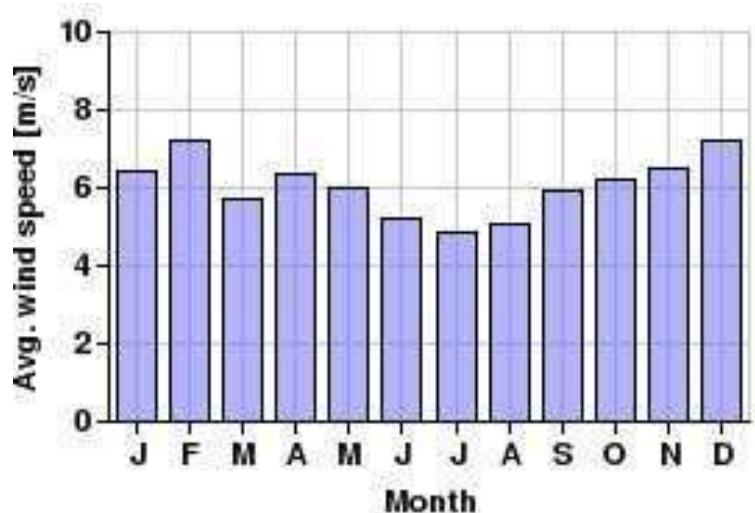


Figura 5 - Media mensile della velocità del vento

Prendendo in esame i dati e la classificazione del tool AWS Truepower per l'area oggetto del presente studio:

Wind conditions at the site at turbine hub height	
The wind conditions at hub height are calculated based on the following properties from Free input defined at reference height = 70m: AMWS@ref.height = 6.18 m/s, Weibull_shape@ref.height = 2.14, and shear@ref.height = 0.19.	
Source information	Free input
Annual mean wind speed (AMWS) [m/s]	6.16
Weibull shape (k)	2.14
Site elevation [m]	360
Air density [kg/m <sup>3</sup> ]	1.180
Vertical wind shear exponent	0.19
Prevailing wind direction	NW
Storm wind speed Vref (50-year 10-min average) [m/s]	
Storm wind speed Ve50 (50-year 3-sec gust) [m/s]	33.1

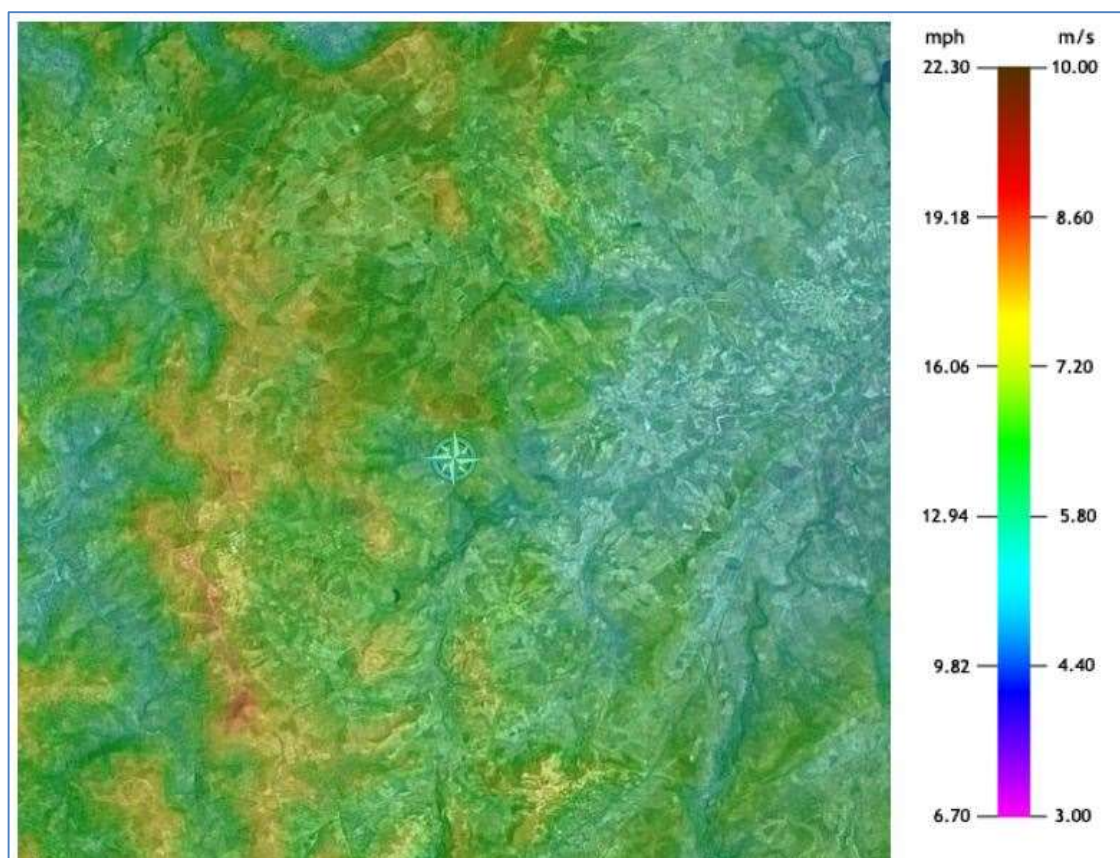


Figura 6 - Mappa della velocità media del vento a 80 m slm

La distribuzione temporale della velocità del vento per un sito viene di solito descritta usando la funzione di distribuzione statistica di Weibull (dal matematico svedese Waloddi Weibull), di cui si riporta di seguito l'espressione a due parametri della funzione densità di probabilità:

$$p(v) = \frac{k}{A} * \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} * \exp\left[-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right]$$

La distribuzione di Weibull è stata comunemente ritenuta adeguata per la rappresentazione della statistica delle velocità medie del vento campionato su breve periodo (ad es. 10 minuti, 1 ora) per tempi dell'ordine di mesi o anni, in modo da ottenere un campione numericamente significativo.

Nella figura sottostante è rappresentata la distribuzione di Weibull per il sito in esame.

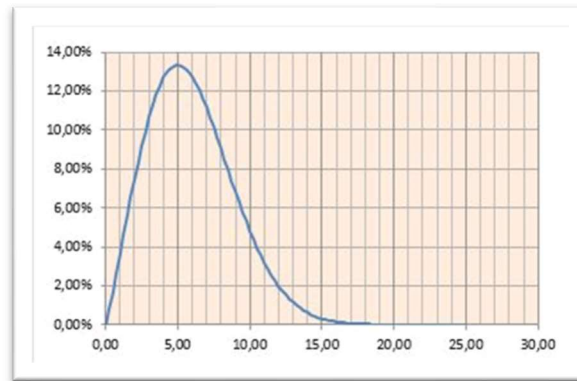


Figura 7- Distribuzione di Weibull

#### Model inputs for wind farm energy calculation

		Energy	
		First	Economic
AMWS prediction standard deviation	0.5 [m/s]	17.50 [%]	
Year-to-year variability (also 'IAV')	4 [%]	8.63 [%]	3.05 [%]
Total uncertainty		19.71 [%]	17.98 [%]

Wind farm Annual Energy Production	[MWh/year]
Gross AEP	2,375
Net P50 excl. loss category 2 to 6	2,375
Net-net P50 incl. loss category 2 to 6:	
Net-net P50 AEP	2,179
Net-net P75 AEP	1,917
Net-net P84 AEP	1,787
Net-net P90 AEP	1,677
Net-net P95 AEP	1,536
Net-net P99 AEP	1,266

## Modelled AEP losses and uncertainties

Category		Efficiency	Uncertainty	
		[%]	[%]	[-]
1	Wake effects (array efficiency)	100	20	0.0
2	Turbine availability (turbine, sub-station, grid, other)	98	50	1.0
3	Power curve (e.g. cut-out hysteresis and degradation)	97.5	100	2.5
4	Electrical efficiency (between converter and meter)	98	25	0.5
5	Environmental (icing, tree growth)	99	50	0.5
6	Curtailement (e.g. load mitigation, noise)	100	20	0.0
7	Other efficiency corrections	99	0	0.0
<b>Aggregated energy yield efficiency and uncertainty</b>		<b>8.22 %</b>		<b>2.78 %</b>
<b>Other variables</b>				
	Inter annual variation (IAV) of AMWS	4	[%]	
	Economic return period for depreciation of IAV	8	[year]	

Month	Days	Frequency	V avg.	MEP
January	31	8.49	6.4	228
February	28	7.67	7.2	261
March	31	8.49	5.7	178
April	30	8.22	6.4	218
May	31	8.49	6.0	196
June	30	8.22	5.2	136
July	31	8.49	4.8	114
August	31	8.49	5.0	129
September	30	8.22	6.0	188
October	31	8.49	6.2	214
November	30	8.22	6.5	225
December	31	8.49	7.2	288
				2,389

La tabella sopra indica l'energia lorda mensile prodotta.



## 5 CONCLUSIONI

L'impianto eolico e le opere di connessione non producono effetti negativi dovuti a campi elettrici e magnetici sulle risorse ambientali e sulla salute pubblica.

Le limitazioni dell'accesso alle persone non autorizzate e la ridottissima presenza di potenziali ricettori garantisce ampiamente il rispetto della distanza di sicurezza tra le persone e le sorgenti di campi elettromagnetici.

Occorre sottolineare che anche le opere utili all'allaccio alla rete elettrica nazionale rispettano in ogni punto i massimi standard di sicurezza ed i limiti prescritti dalle norme vigenti in materia di esposizione da campi elettromagnetici.

Ing. Antonello Biasetti