



Green Power

Engineering & Construction

CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.R.99.IT.W.15590.00.010.00

PAGE

1 di/of 19

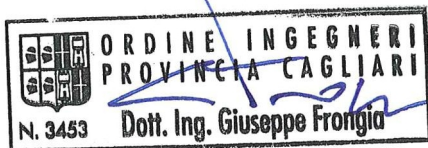
TITLE:
IT

AVAILABLE LANGUAGE:

IMPIANTO EOLICO "TELTI"

Comuni di Telti e Calangianus (OT)

Valutazione risorsa eolica ed analisi di producibilità



File: GRE.EEC.R.99.IT.W.15590.00.010.00 Valutazione risorsa eolica ed analisi di producibilità

00	16/09/22	Issued	EGPI	Name (Contactor)	Name (Contactor)															
			Name (Contactor)	Name (Contactor)	Name (Contactor)															
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED															
GRE VALIDATION																				
Name (GRE)		Name (GRE)		A. Puosi (GRE)																
COLLABORATORS		VERIFIED BY		VALIDATED BY																
PROJECT / PLANT *****	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISIO										
	GR	EEC	R	9	9	I	T	W	1	5	5	9	0	1	5	0	1	0	0	0
CLASSIFICATION				UTILIZATION SCOPE																
This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.																				



Green Power

Engineering & Construction



CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.R.99.IT.W.15590.00.010.00

PAGE

2 di/of 19

INDEX

1. INTRODUZIONE	3
1.1. CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA.....	8
4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO.....	12
5. MODELLO DI VALUTAZIONE RISORSA EOLICA	14
6. RISULTATI	19

1. INTRODUZIONE

La scrivente società di ingegneria I.A.T. consulenza e progetti S.r.l. è stata incaricata da Enel Green Power Italia S.r.l. di redigere il progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo impianto eolico denominato "Telti" e delle opere connesse, da ubicarsi nei comuni di Telti e Calangianus (OT).

In sintesi, il presente progetto prevede:

- l'installazione di 11 aerogeneratori, in linea con gli standard più alti presenti sul mercato, per una potenza complessiva in immissione pari a 54 MW;
- la realizzazione delle fondazioni per gli aerogeneratori in progetto;
- la realizzazione di piazzole di montaggio degli aerogeneratori, di nuovi tratti di viabilità e l'adeguamento della viabilità esistente, al fine di garantire l'accesso per il trasporto degli aerogeneratori;
- la realizzazione del cavidotto di alta tensione e della connessione alla sottostazione RTN 150kV "Tempio".
- l'utilizzo temporaneo, attraverso opportuni adeguamenti, di aree per il Site Camp e per lo stoccaggio temporaneo (Temporary Storage Area).

Il progetto è in linea con gli obiettivi nazionali ed europei per la riduzione delle emissioni di CO₂ legate a processi di produzione di energia elettrica.

1.1. CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione costituisce il documento sulla valutazione della risorsa eolica e sull'analisi di producibilità riguardante gli aerogeneratori che sono previsti nel sito di Telti.

Il capitolo 2 descrive in generale il sito e il layout degli aerogeneratori di nuova costruzione.

Nel capitolo 3 vengono descritte le caratteristiche anemologiche del sito.

Il capitolo 4 illustra le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore di riferimento e il capitolo 5 tratta del modello di analisi di producibilità.

Infine, il capitolo 6 riporta i risultati dell'analisi di producibilità.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il proposto parco eolico ricade nella porzione centro-occidentale della regione storica denominata *Gallura*, al margine con la regione storica dell'*Alta Gallura*. In particolare, gli 11 aerogeneratori in progetto sono localizzati nel settore occidentale del territorio comunale di Telti nella provincia del Nordest Sardegna.

Le opere da realizzare riguardano anche il comune di Calangianus, interessato insieme al comune di Telti, dal passaggio del cavidotto AT a 150kV.

In funzione della direzione di provenienza dei venti dominanti, il layout di impianto si sviluppa secondo due linee ideali in direzione nord-ovest sud-est e un raggruppamento a nord-est ottimizzando, per quanto possibile, l'accessibilità alle postazioni eoliche appoggiandosi alla rete dell'esistente viabilità comunale.

L'inquadramento degli aerogeneratori nei luoghi di intervento, secondo la toponomastica locale, è riportato in Tabella 2.2.

La *Gallura* è una regione storica della Sardegna il cui territorio corrisponde alla porzione nord-orientale dell'Isola: dalla Maddalena a nord, passando per Olbia ad est, per poi estendersi sino al territorio pianeggiante di Oschiri ad ovest, quello montuoso di Buddusù e Alà dei Sardi a sud e Budoni e San Teodoro a sud-est.

In particolare, confina con le seguenti regioni storiche: l'*Alta Gallura* a nord-ovest, il *Nuorese* e la *Baronia* a sud, il *Montacuto* a ovest.

All'interno della regione storica della Gallura sono compresi i seguenti centri urbani: La Maddalena, Palau, Arzachena, Sant'Antonio di Gallura, Olbia, Golfo Aranci, Telti, Oschiri, Berchidda, Monti, Loiri Porto San Paolo, Buddusù, Alà dei Sardi, Padru, San Teodoro e Budoni.

Sotto il profilo geomorfologico il territorio di questa regione a carattere pianeggiante, collinare e a tratti montuoso, è costituito per la maggior parte da terreni granitici, che ne caratterizzano la morfologia, in cui a terrazzi orografici si mescolano brevi dorsali e piccoli ripiani recanti blocchi granitici. Le emergenze orografiche principali sono date dal *Monte Limbara* (la cui *Punta Balestrieri* raggiunge i 1.362 metri di altitudine), dal *Monte Nieddu* (971 metri), in territorio di Padru, e dal *Monte Salici* (che raggiunge i 911 metri) nell'attuale *Alta Gallura*.

Gli aerogeneratori saranno installati su due linee ideali e parallele in direzione nord-ovest sud-est e un raggruppamento a nord-est. Nel dettaglio, l'impianto è disposto in tre porzioni di territorio così sintetizzabili (da nord verso sud-ovest):

- il raggruppamento a nord-est, formato dagli aerogeneratori TL-01 e TL-02, è localizzato ai piedi del rilievo collinare denominato *M. Cantoni* (372m);
- la linea centrale, costituita dagli aerogeneratori TL-03, TL-05, TL-06, TL-10 e TL-11, che si sviluppa in direzione nord-ovest sud-est dalla località *Multa Longa*, ad est del *M. della Neula*, sino alla località *Pedra Maggiore*;
- infine, la porzione ad ovest, dove si sviluppa una seconda linea di aerogeneratori con TL-04, TL-07, TL-08 e TL-09, che lambisce il confine con il territorio comunale di Calangianus a partire dal *M. Cunconi* sino alla località *Cariganu*.

Come desumibile dal Piano Forestale Ambientale Regionale, l'area in oggetto si trova all'interno del Distretti Forestali "n. 01 - Alta Gallura", caratterizzato principalmente da un substrato granitico.

Dal punto di vista biogeografico il distretto sopra citato ricade interamente all'interno del distretto siliceo del sottosettore costiero e collinare, ad eccezione di Capo Figari e dell'Isola di Tavolara che ricadono, invece, nel distretto nord-orientale del sottosettore dei monti calcarei della Sardegna centro-orientale (Arrigoni, 1983).

Dal punto di vista dei caratteri idrografici l'area è collocata all'interno del bacino idrografico del *Padrongiano*, delimitato a ovest dalle propaggini orientali del *Massiccio del Limbara*, a sud dalle propaggini settentrionali dei *Monti di Alà*, a nord e ad est dal mare. Il *Rio Padrongiano*, a regime torrentizio, ha origine nella parte orientale del complesso del *Limbara* dalla confluenza del *Rio di Enas* e del *Rio S. Simone* e sfocia nel *Golfo di Olbia* dopo un percorso di 35 km circa. L'altimetria del bacino varia con quote che vanno da 0 m (s.l.m.) in corrispondenza della foce del *Fiume Padrongiano* ai 1114 m (s.l.m.) in corrispondenza del versante orientale dei *Monti del Limbara*.

Sotto il profilo dell'infrastrutturazione viaria, il sito è raggiungibile attraverso un sistema di viabilità secondaria innestato su alcune direttrici principali: la SP138 Bis, a sud-ovest, dalla quale parte una strada secondaria che, proseguendo verso nord, permette di raggiungere TL-09, TL-08 e TL-07; la SP147, che attraverso un tratto di strada interpodereale permette di raggiungere le postazioni TL-10 e TL-11; e, infine, la SS 127 Settentrionale Sarda dalla quale

si diparte una rete di viabilità secondaria verso sud-ovest, permettendo di raggiungere gli aerogeneratori TL-06, TL-05 e TL-04, e verso nord-est che conduce agli aerogeneratori TL-03, TL-02 e TL-01.

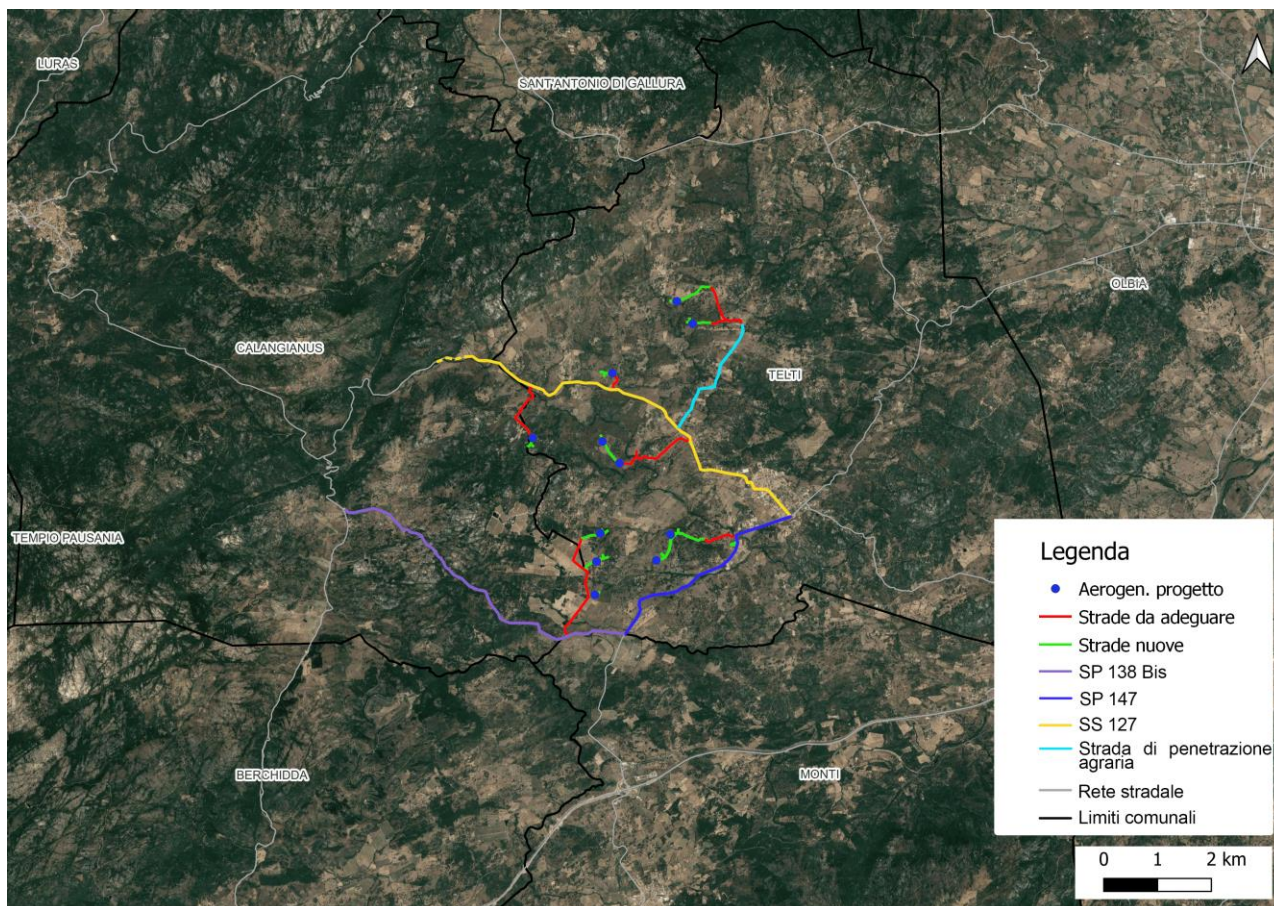


Figura 2.1: Sistema della viabilità di accesso all'impianto

Cartograficamente, l'area del parco eolico è individuabile nella Carta Topografica d'Italia dell'IGMI in scala 1:25000 nel Foglio 443 Sez. I – Calangianus e Sez. II – Monti e nel Foglio 444 Sez. IV Olbia ovest; nella Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10000 alle sezioni 443120 – Monte sa Eltica, 444050 – Serra di Monte Pino e 44490 – Telti.

Rispetto al tessuto edificato degli insediamenti abitativi più vicini (GRE.EEC.X.99.IT.W.15590.05.020.00), il sito di intervento presenta, indicativamente, la collocazione individuata in Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Distanze dagli aerogeneratori rispetto ai più vicini centri abitati

Centro abitato	Posizionamento rispetto al sito	Distanza minima dal sito (km)
Priatu (S. Antonio di Gallura)	N	2,94
Putzolu (Olbia)	N-E	7,27
Telti	E	1,64
La Palazzina (Monti)	S-E	6,02
Monti	S	5,20
Berchidda	S-O	14,47
Calangianus	N-O	8,98

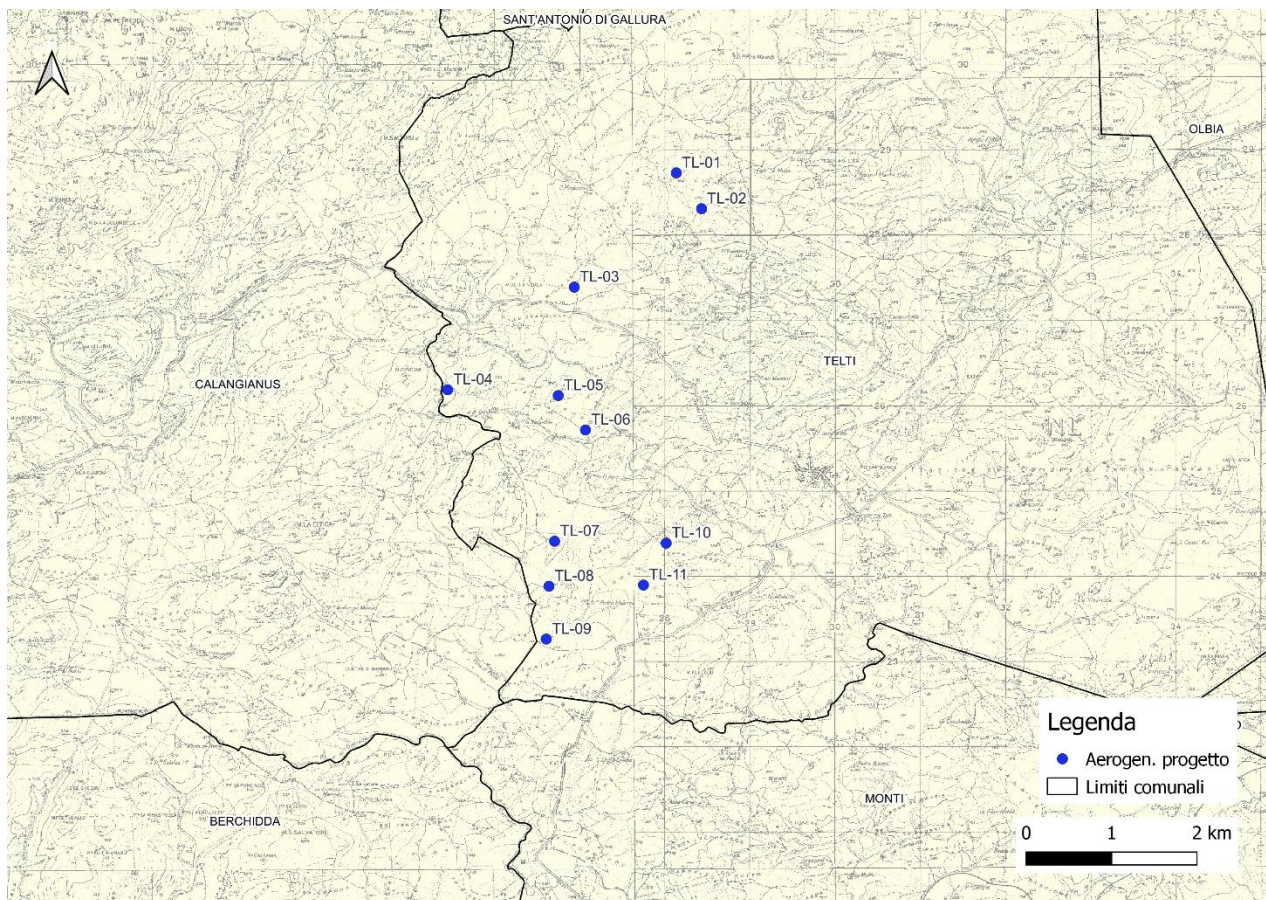


Figura 2.2: Ubicazione degli aerogeneratori in progetto su IGM storico

L'inquadratura catastale delle installazioni eoliche in progetto è riportata negli elaborati GRE.EEC.D.99.IT.W.15590.00.023.00 mentre l'inquadratura catastale del tracciato cavidotti è riportata nell'elaborato GRE.EEC.D.99.IT.W.15590.10.005.00.

L'impianto sarà servito da una viabilità interna di collegamento tra gli aerogeneratori, prevalentemente incardinata sulla viabilità comunale esistente tra le località *M. Cantoni* a nord-est per TL-01 e TL-02, *Lu Grandinatu* per l'aerogeneratore TL-03, *M. Cunconi* per TL-04, *La Itichedda* per TL-05 e TL-06, *Serra Uddastru* e *Pedra Maggiore* per TL-10 e TL-11 e, infine, *Cariganu* per i restanti tre aerogeneratori, funzionale a consentire il processo costruttivo e le ordinarie attività di manutenzione in fase di esercizio.

Tabella 2.2: Inquadratura delle postazioni eoliche nella toponomastica locale

ID Aerogeneratore	Località
TL-01	Monte Cantoni
TL-02	Monte Cantoni
TL-03	Multa Longa
TL-04	Monte Cunconi
TL-05	La Itichedda
TL-06	La Itichedda
TL-07	Campo di Ficu
TL-08	Perda Maggiore
TL-09	Cariganu
TL-10	Serra Uddastru
TL-11	Pedra Maggiore

Le coordinate degli aerogeneratori espresse nel sistema Gauss Boaga – Roma 40 sono le seguenti.

Tabella 2.3: Coordinate aerogeneratori in Gauss Boaga – Roma 40

Aerogeneratore	GB Est	GB Nord
TL-01	1 528 090	4 528 543
TL-02	1 528 385	4 528 124
TL-03	1 526 895	4 527 206
TL-04	1 525 411	4 526 004
TL-05	1 526 707	4 525 936
TL-06	1 527 025	4 525 533
TL-07	1 526 664	4 524 230
TL-08	1 526 599	4 523 704
TL-09	1 526 567	4 523 085
TL-10	1 527 971	4 524 208
TL-11	1 5277 05	4 523 717

3. CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA

Il sito di Telti è situato in una delle zone maggiormente ventose di tutto il Paese, come mostrato in figura seguente, ricavata dall'Atlante Eolico di RSE SpA.



Figura 3-1: Estratto Atlante Eolico RSE

L'impianto sfrutterebbe quindi appieno la risorsa eolica e garantirebbe elevati valori di producibilità.

La velocità e la direzione del vento sono misurate in sito tramite la stazione anemometrica esistente di "Balascia", situata a circa 21 km a sudovest dell'impianto, ad un'altitudine pari a 792 m s.l.m. come mostrato in figura:

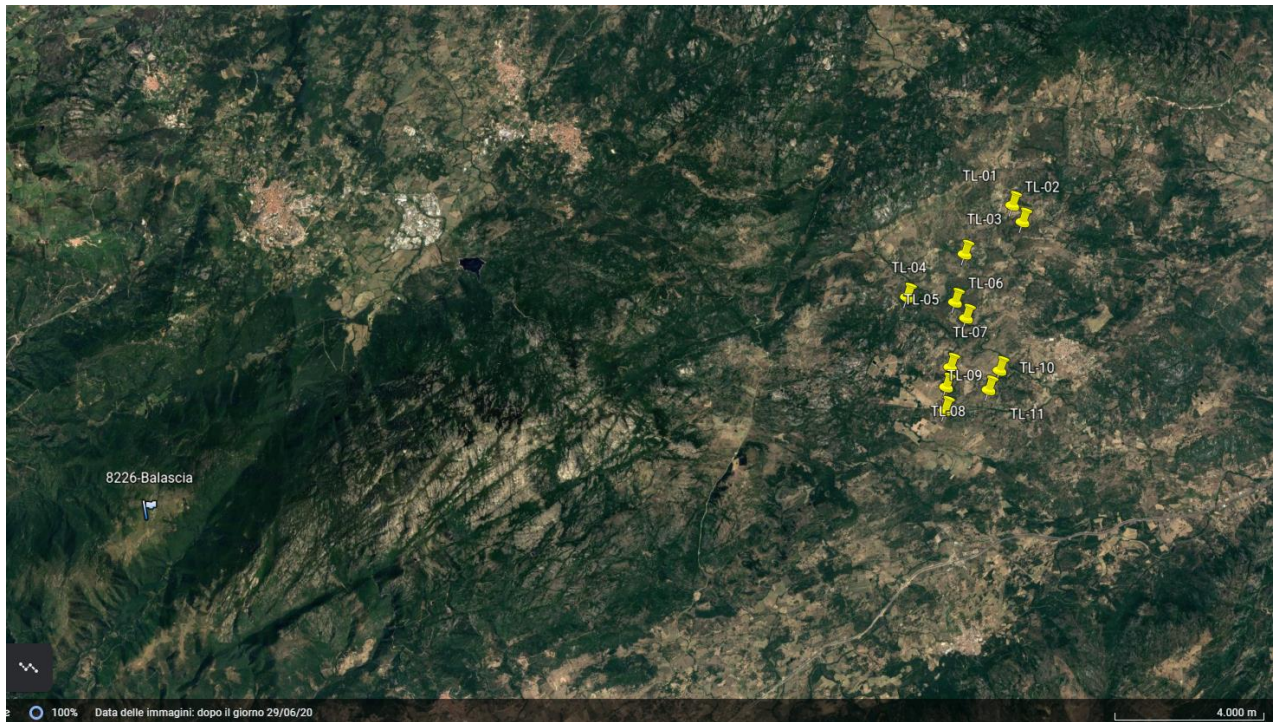


Figura 3-2: Inquadramento stazione anemometrica "Balascia"

La stazione anemometrica misura la direzione del vento e la sua velocità, necessaria per il calcolo della stima di producibilità. La stazione misura, inoltre, la temperatura ambiente che determina la densità dell'aria, altra variabile nella stima di producibilità.

La velocità media mensile e la direzione del vento misurate dalla stazione anemometrica sono riportate nelle figure sottostanti per il periodo di 102 mesi:

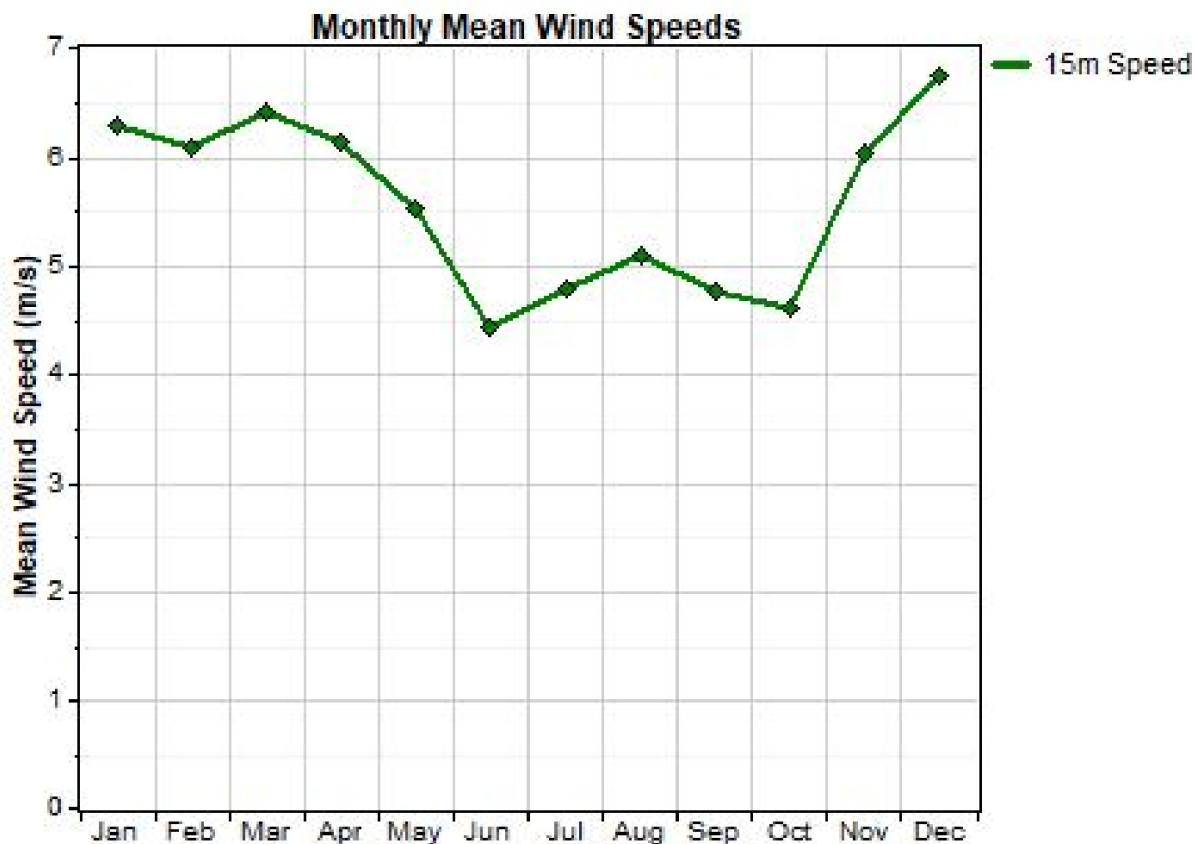


Figura 3-3: Profilo medio mensile di velocità del vento alla stazione anemometrica

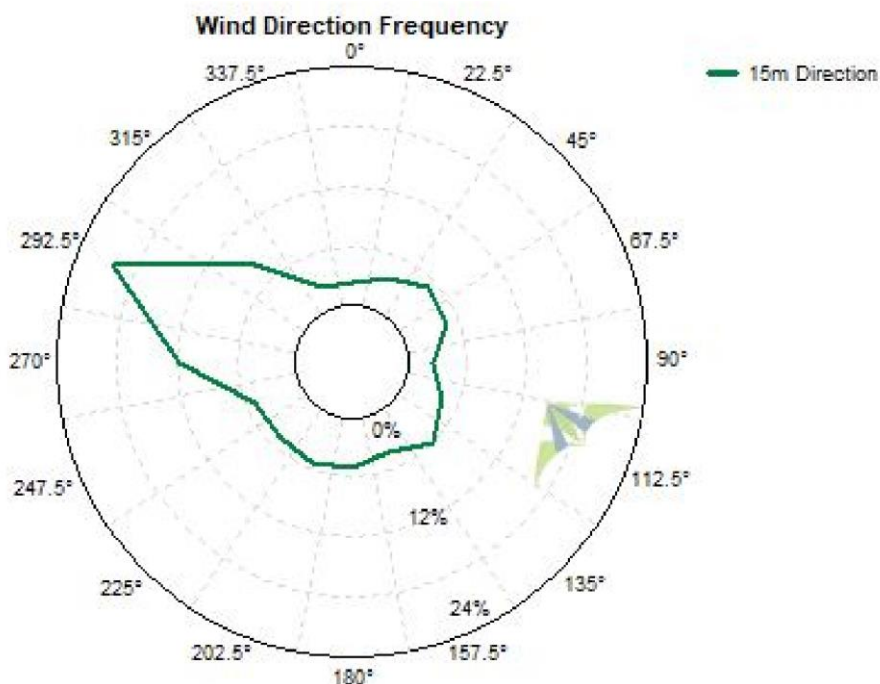


Figura 3-4: Direzione prevalente vento alla stazione anemometrica

Come visibile dalle figure precedenti, la velocità del vento è misurata all'altezza di 15 metri da terra.

La direzione del vento è prevalente nella direzione ovest-nordovest. Questo fattore è molto importante nell'ambito della progettazione di impianti eolici, al fine di individuare il migliore

posizionamento degli aerogeneratori ed evitare effetti di scia tra essi.

Nelle figure seguenti si evidenziano i profili diurni ed il profilo verticale della velocità, da cui si può valutare quale sia la variazione della velocità del vento in funzione dell'altezza dal suolo:

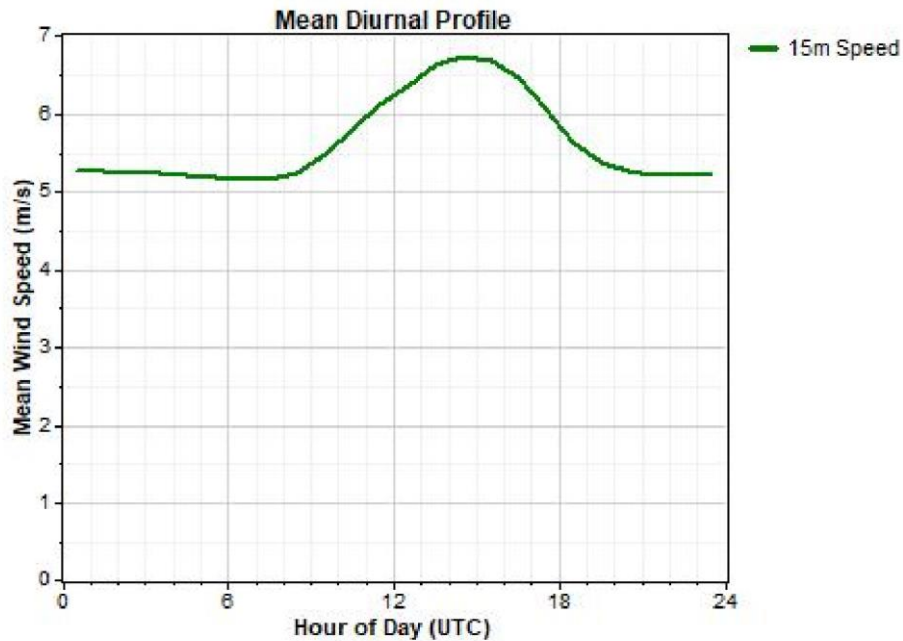


Figura 3-5: Profilo medio giornaliero di velocità del vento alla stazione anemometrica

Il sito è caratterizzato da ottimi valori di velocità del vento, che garantiscono un'elevata producibilità del sito.

4. AEROGENERATORE DI RIFERIMENTO

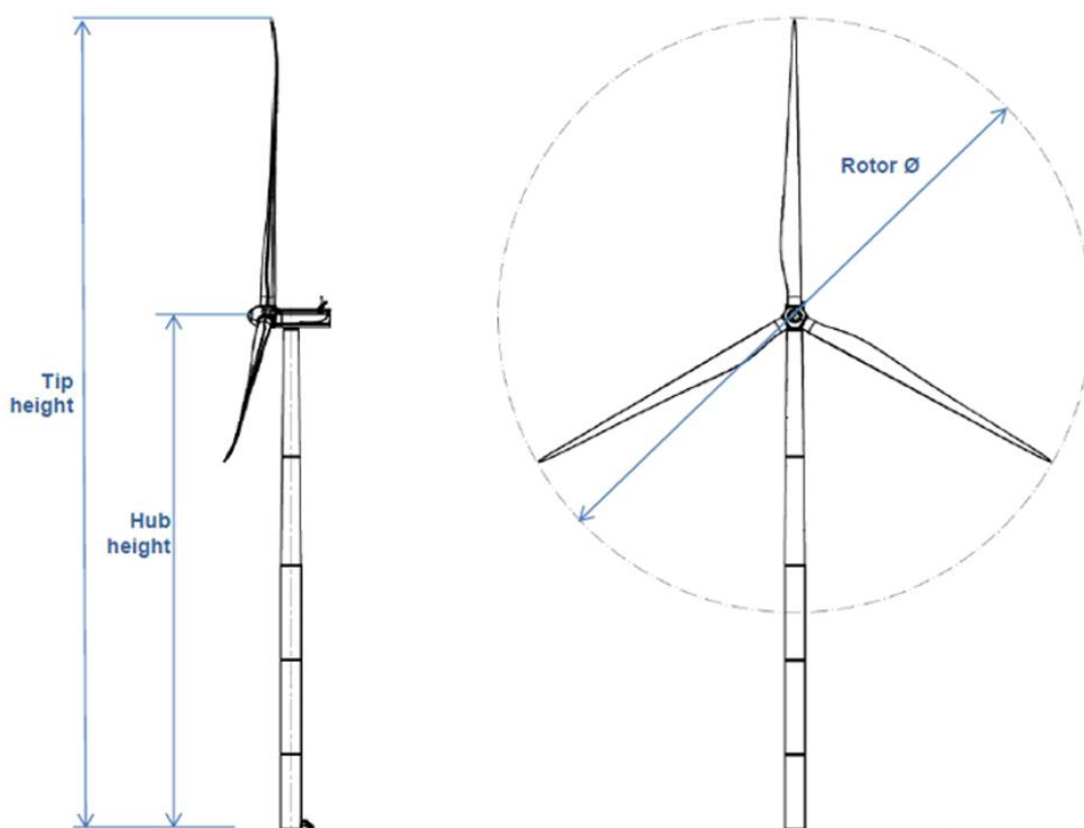
Gli aerogeneratori che verranno installati nel nuovo impianto di Telti saranno selezionati sulla base delle più innovative tecnologie disponibili sul mercato. La potenza nominale delle turbine previste sarà pari a massimo 6,0 MW. Il tipo e la taglia esatta dell'aerogeneratore saranno comunque individuati in seguito della fase di acquisto della macchina e verranno descritti in dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche tecniche di un aerogeneratore con potenza nominale pari a 6,0 MW:

Tabella 4: Caratteristiche tecniche aerogeneratore

Potenza nominale	6,0 MW
Diametro del rotore	170 m
Lunghezza della pala	83,5 m
Corda massima della pala	4,5 m
Area spazzata	22.698 m ²
Altezza al mozzo	135 m
Classe di vento IEC	IIIA
Velocità cut-in	3 m/s
V nominale	10 m/s
V cut-out	25 m/s

Nell'immagine seguente è rappresentata una turbina con rotore di diametro pari a 170 m e potenza fino a 6,0 MW:



Diametro rotore (Rotor Ø)	170 m
Altezza mozzo (Hub height)	135 m
Altezza massima (Tip height)	220 m

Figura 4-1: Vista e caratteristiche di un aerogeneratore da 6,0 MW

Ogni aerogeneratore è equipaggiato di generatore elettrico asincrono, di tipo DFIG (Directly Fed Induced Generator) che converte l'energia cinetica in energia elettrica ad una tensione nominale di 690 V. È inoltre presente su ogni macchina il trasformatore per innalzare la tensione di esercizio da 690 V a 33 kV.

5. MODELLO DI VALUTAZIONE RISORSA EOLICA

In questo capitolo si affronta lo studio del modello per la valutazione della risorsa eolica e per l'analisi di producibilità riferito all'aerogeneratore di riferimento descritto al capitolo 4.

Il primo passo per la valutazione della risorsa è lo studio della velocità del vento all'altezza del mozzo dell'aerogeneratore. La velocità del vento è strettamente legata alla quota a cui essa è registrata, secondo la legge seguente:

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha$$

Dove:

- v_0 è la velocità del vento misurata alla quota z_0 ;
- v è la velocità che vuole essere identificata alla quota z (ad esempio all'altezza del mozzo);
- α è un coefficiente che correla la differenza di quota alla differenza di velocità del vento.

Come visibile dalla formula, il calcolo della velocità del vento all'altezza del mozzo può essere determinata a partire da una misura di velocità ad una quota conosciuta e dall'individuazione del coefficiente α .

Le misure del vento alle quote di riferimento sono quelle riportate al capitolo 3, registrate presso la stazione anemometrica "San Pietro Vernotico". Come già evidenziato, la stazione misura la velocità del vento a quote differenti: 40, 60 e 80 metri. Questo permette di poter identificare il coefficiente α tra queste tre quote e applicarlo poi per l'identificazione della velocità del vento all'altezza del mozzo dell'aerogeneratore.

Dall'analisi effettuata per l'altezza di mozzo pari a 135 metri, sono ottenuti i seguenti grafici di velocità e direzione del vento all'altezza del mozzo:

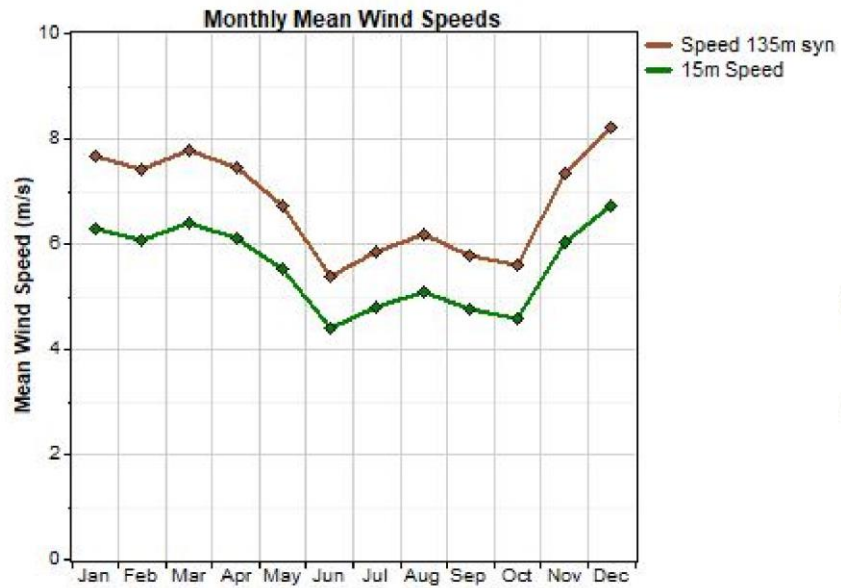


Figura 5-1: Profilo medio mensile di velocità del vento all'altezza del mozzo

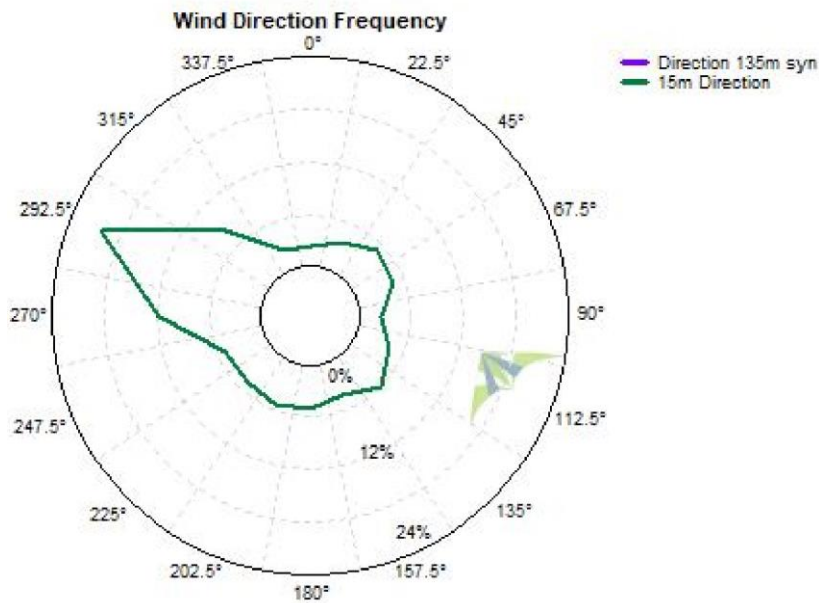


Figura 5-2: Direzione prevalente vento all'altezza di mozzo

Sono riportati di seguito anche il grafico del profilo medio diurno di velocità del vento ed il profilo verticale esteso all'altezza di mozzo:

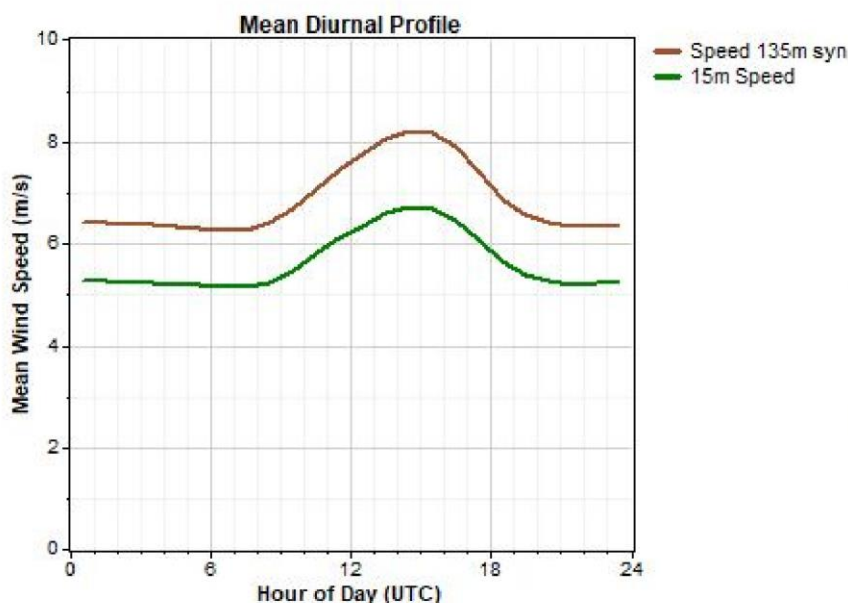


Figura 5-3: Profilo medio giornaliero di velocità del vento all'altezza del mozzo

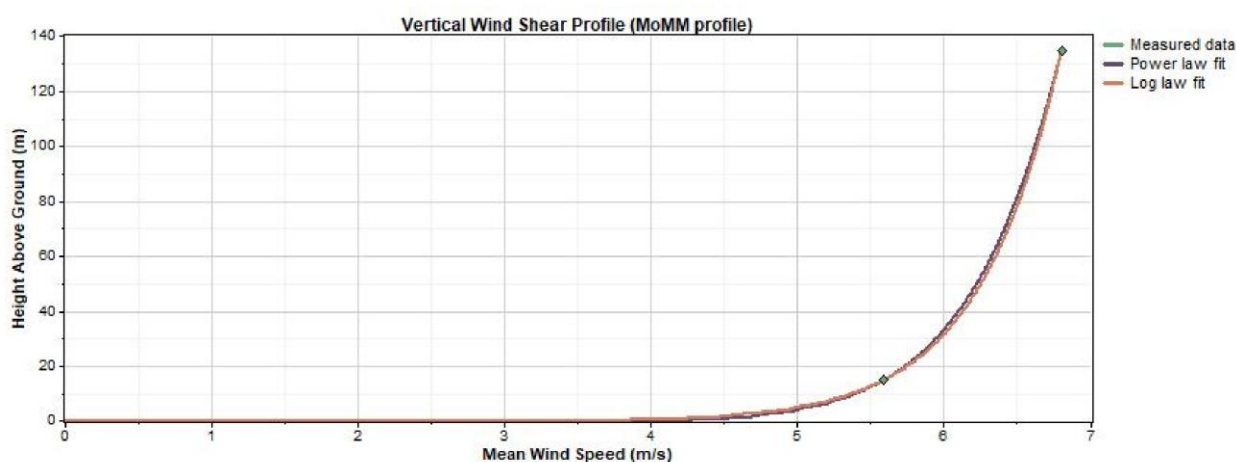


Figura 5-4: Profilo verticale di velocità fino all'altezza di mozzo

Dal profilo di velocità del vento è possibile ottenere una distribuzione di frequenza della velocità del vento per il calcolo della producibilità. La distribuzione di frequenza consente di identificare il numero di ore all'anno in cui si registra ciascun range di velocità del vento e calcolare quindi la relativa energia prodotta.

La distribuzione ideale che meglio descrive il comportamento della velocità del vento in un dato sito è la distribuzione probabilistica di Weibull, di cui è riportata la funzione di densità di probabilità sotto:

$$f(v) = \left(\frac{k}{A}\right) \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k}$$

Dove:

- v è la velocità del vento;
- $f(v)$ è la distribuzione di frequenza che indica la probabilità di avere una data velocità del vento;
- k e A rappresentano rispettivamente il parametro di forma e il parametro di scala. k è un parametro adimensionale che indica la distribuzione utilizzata ed è minore di 2 quando si tratta di una distribuzione di tipo Weibull. A è un parametro con unità dimensionale di m/s, così come la velocità del vento: solitamente il parametro A è stimabile sapendo che la velocità media del vento è circa pari a $0,9 \cdot A$. I valori di k e A sono stimabili, in modo

più preciso, attraverso una serie di modelli: modello grafico, modello MOM (methods of moments), modello empirico o modello energetico equivalente.

Attraverso lo studio dei dati misurati in sito è possibile ottenere quale sia la distribuzione Weibull che meglio descrive l'andamento della velocità del vento. La distribuzione di Weibull è identificata in figura seguente:

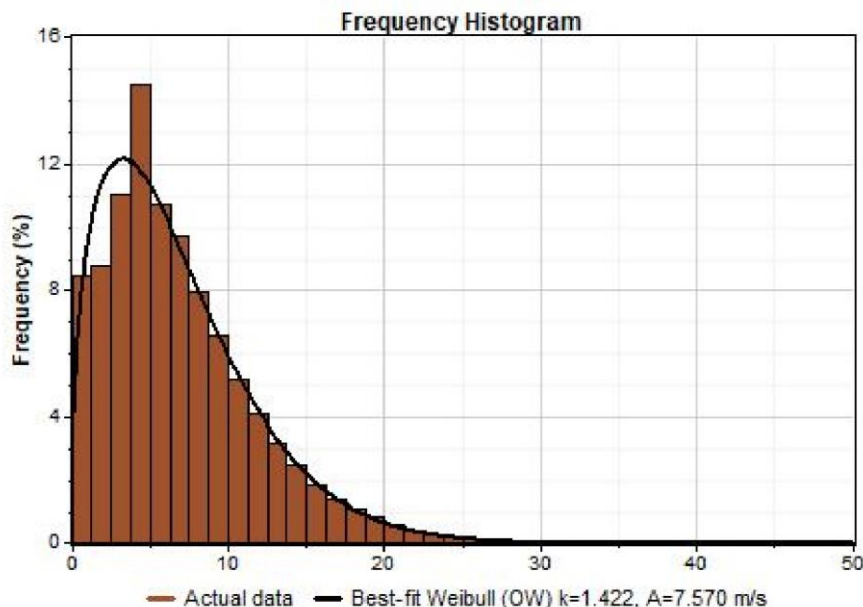


Figura 5-5: Distribuzione di Weibull

Si ottiene quindi una distribuzione probabilistica di velocità durante l'anno. È dunque possibile calcolare l'energia prodotta dall'aerogeneratore moltiplicando, per ogni classe di vento, la potenza prodotta dall'aerogeneratore in quella condizione di vento, ricavata dalla curva di potenza, ed il numero di ore all'anno in cui si verifica quella condizione di vento, ottenibili come il prodotto tra le ore totali in un anno (8760) e la probabilità che vi sia quella condizione di vento ($f(v)$ da distribuzione Weibull).

L'energia specifica del flusso d'aria e la sua direzione sono riportate nella figura seguente:

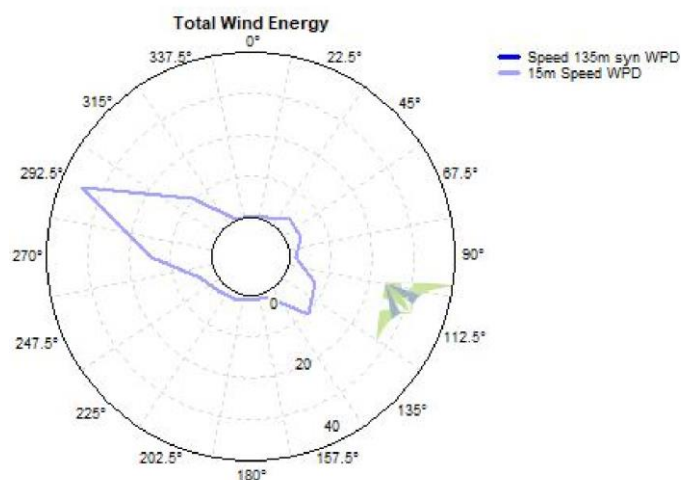


Figura 5-6: Energia dal vento

Non è possibile, tuttavia, calcolare l'energia prodotta da tutto il parco eolico come l'energia prodotta da un aerogeneratore moltiplicata per il numero di aerogeneratori. Infatti, vi sono diverse interazioni tra gli aerogeneratori, che riducono il valore di energia prodotta totale dal campo: effetti di scia e effetti di "schiera", dovuti alla presenza di numerose turbine che condizionano il vento, anche fuori dall'area di scia.



Green Power

Engineering & Construction



iat CONSULENZA
E PROGETTI

GRE CODE

GRE.EEC.R.99.IT.W.15590.00.010.00

PAGE

18 di/of 19

La modellazione ed il calcolo della producibilità per l'intero parco eolico sono stati effettuati attraverso il software di progettazione e di ottimizzazione di impianti eolici "Openwind", tramite l'impiego del modello "Deep Array Eddy Viscosity Model".

L'utilizzo di un modello di tipo "wake" (scia) è necessario poiché per impianti eolici composti da numerose turbine non è possibile ipotizzare che non vi sia correlazione tra i vari aerogeneratori e che la presenza di un aerogeneratore non possa influenzare il vento circostante e le prestazioni degli altri aerogeneratori. La presenza di numerose turbine eoliche in un'area limitata può alterare il profilo del vento anche al di fuori della zona di scia, riducendo così il valore totale di energia prodotta.

6. RISULTATI

La modellazione illustrata al capitolo precedente ha condotto ai seguenti risultati:

Tabella 5: Risultati stima di producibilità

Caratteristica	Valore
Potenza Installata	53.9 MW
Potenza nominale WTG	4,9 MW
N° di WTG	11
Classe IEC	IIIa
Diametro del rotore	170 m
Altezza del mozzo	135 m
Velocità media del vento all'altezza del mozzo (free)	7,2 m/s
Energia prodotta annua P50	156.310 MWh
Ore equivalenti P50	2900

È stato riportato il percentile P50. Esso rappresenta il valore a cui corrisponde il 50% di probabilità di ottenere, nella realtà, un valore maggiore o uguale a quello riportato.

Al percentile riportato, si stima che l'impianto eolico potrà produrre 156,3 GWh all'anno, per un totale di 2900 ore equivalenti. Come già evidenziato, il sito è caratterizzato da ottimi valori di ventosità che garantiscono un'elevata producibilità.