



CAMPAGNA ANEMOMETRICA DEL PARCO EOLICO: MISURAZIONI PER ANALISI ENERGETICHE E FUNZIONALI

Nel Campo Eolico Sperimentale di Trento sono presenti due torri anemometriche, di altezza pari a 18 m. Sulle torri sono montati i sensori per l'analisi anemologica e per la misura dei dati di vento in correlazione con i dati funzionali delle turbine. Ognuna delle torri anemometriche è dedicata alla determinazione dei dati anemologici da correlare alla turbina ad essa più vicina.

Nel trattare i dati anemologici del CEST si è data particolare importanza all'analisi della turbolenza, per la caratterizzazione del sito, per la validazione di modelli di turbolenza in terreni complessi, oltre che per la valutazione del suo effetto sulle condizioni funzionali e strutturali delle turbine installate. Nelle installazioni che non hanno finalità di ricerca l'aspetto che non viene indagato a sufficienza è quello relativo alla turbolenza. Nelle installazioni di macchine di piccolo taglia esso viene di solito completamente trascurato.

Nei paragrafi successivi vengono presentate le elaborazioni dei dati meteorologici delle due torri anemometriche. Il database analizzato è costituito da un anno di dati con valori mediati sui 10 minuti. Il periodo considerato è quello che parte da agosto 2007 fino a luglio 2009.

Dal mese di giugno 2009 è stato inoltre possibile installare un anemometro ultrasonico 3D posto ad un'altezza di 18 m. Tale strumento permette di costruire in maniera precisa gli indicatori statistici di interesse (media, deviazione standard, direzione di provenienza del vento) e di confrontarli con quelli costruiti a partire dalla strumentazione già presente nel campo eolico. Inoltre, grazie ad una frequenza di acquisizione molto elevata, permette di costruire direttamente, a partire dalla serie temporale dei dati, lo spettro della turbolenza per confrontarlo quindi con lo spettro ricostruito secondo normativa.

PALO ANEMOMETRICO PER GAIA-WIND

I dati considerati sono quelli acquisiti dai sensori installati sulla torre anemometrica più vicina all'aerogeneratore GaiaWind (**Torre anemometrica 2**). I dati rilevati in tale stazione sono considerati più rappresentativi delle caratteristiche medie del sito rispetto a quelli dell'altra torre anemometrica. I dati dell'altra torre sono infatti parzialmente influenzati dalla costruzione del capannone a nord dell'autoparco; costruzione avvenuta a campagna anemometrica già avviata da alcuni mesi. Il database è costituito da complessivamente da 52704 serie temporali di dati in formato numerico. La dimensione effettiva del database è inferiore poiché vi sono dei dati non validi a causa di temporanei malfunzionamenti di alcuni sensori o del sistema di trasmissione dati. I records validi sono 48 487. I dati persi costituiscono quindi l'8% del totale. In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. sono sintetizzati i dati relativi alla stazione e al database utilizzato per l'elaborazione.



Tabella 1 – Dati identificativi della stazione e della campagna di misura.

Variabile	Valore
Latitudine	N 46° 06' 46.6"
Longitudine	E 11° 05' 36.1"
Elevazione	195 m
Data iniziale	1/08/2007
Data finale	31/07/2009
Durata	24 mesi
Intervallo di media	10 minuti
N° di records del campione	105 263
N° di records validi	94 077
Records mancanti	11 186
Data recovery rate (%)	89.4

Tabella 2 – Parametri indagati e posizione dei sensori sulla torre.

	Posizione [m dal suolo]	Unità di misura
Velocità del vento	9 m	m/s
	18 m	m/s
Direzione del vento	18 m	°
Temperatura	17 m	°C
Pressione Atmosferica	17 m	mbar

Tabella 3 – Sintesi dei dati ambientali.

	Media	Min	Max
Temperatura (°C)	12.11	-10.00	32.77
Pressione (mbar)	992	944	1 019
Densità dell'aria (kg/m ³)	1.21	1.12	1.34

In **Tabella 2** sono elencati i parametri meteorologici indagati e la posizione sulla torre dei relativi sensori di misura, mentre la Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. contiene una sintesi dei dati ambientali di temperatura, pressione, densità dell'aria, per il database considerato

I principali parametri relativi alla risorsa eolica stimata con il database annuale sono sintetizzati in Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.. I valori di tali parametri sono riportati per le due altezze a cui sono montati gli anemometri. I valori di velocità media, velocità media cubica, densità di potenza, evidenziano una risorsa che è decisamente inferiore a quella dei siti che vengono comunemente indicati come interessanti per lo sfruttamento di questa risorsa rinnovabile. Il parametro di forma di Weibull, inferiore a 1.5 è indicativo di una risorsa con una forte irregolarità.

La risorsa è concentrata nelle ore pomeridiane, con il picco alle 17. L'indice di variabilità diurna (*diurnal pattern strength*) è molto elevato, evidenziando una forte dipendenza della velocità del vento dall'ora del giorno.



Il valore di intensità di turbolenza medio è elevato, indice di una forte irregolarità della risorsa anche a scale temporali ridotte.

Tabella 4 – Sintesi dei dati relativi alla risorsa eolica a 18 m e a 9 m dal suolo.

Variabile	V 18m	V 9m
Altezza dal suolo (m)	18	9
V media (m/s)	2.65	2.32
V massima sui 10 min (m/s)	14.11	11.96
Densità di potenza (W/m ²)	33	22
Energia disponibile(kWh/m ² /yr)	292	196
V media cubica(m/s)	3.94	3.41
Weibull k	1.525	1.516
Weibull c (m/s)	2.962	2.596
Ora con maggior risorsa	17	16
Intensità di turbolenza media	0.220	0.247
Frequenza di calme (%) < 1 m/s	14.82	20.89
Coeff. di autocorrelazione1-hr	0.777	0.784
Diurnal pattern strength	0.416	0.422

Distribuzioni per classi di velocità del vento

In **Figura 1** sono rappresentati gli istogrammi delle distribuzioni dei valori di velocità media sui 10 minuti per i due anemometri a coppe (18 m e 9 m) con la relativa curva di adattamento con la distribuzione di Weibull.

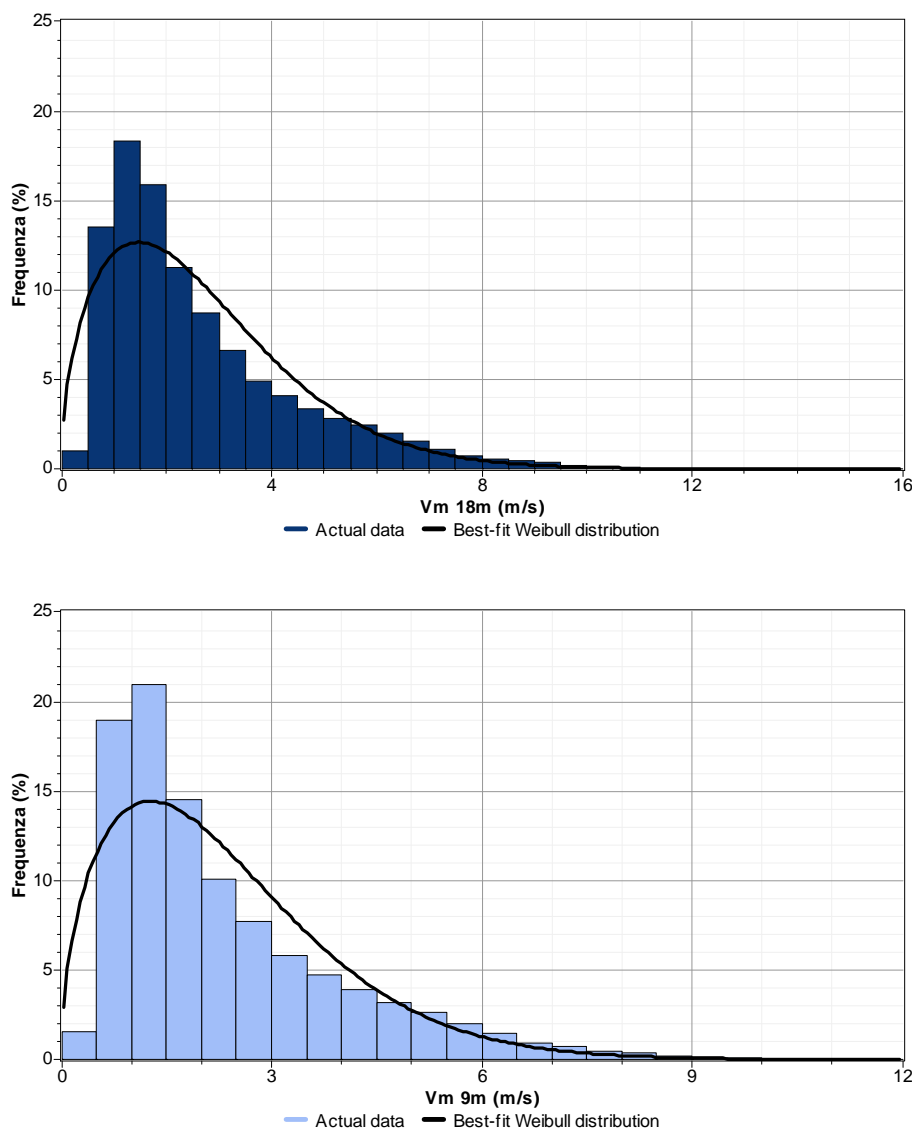


Figura 1 – Distribuzione dei dati a 18m e a 9m per il database completo.

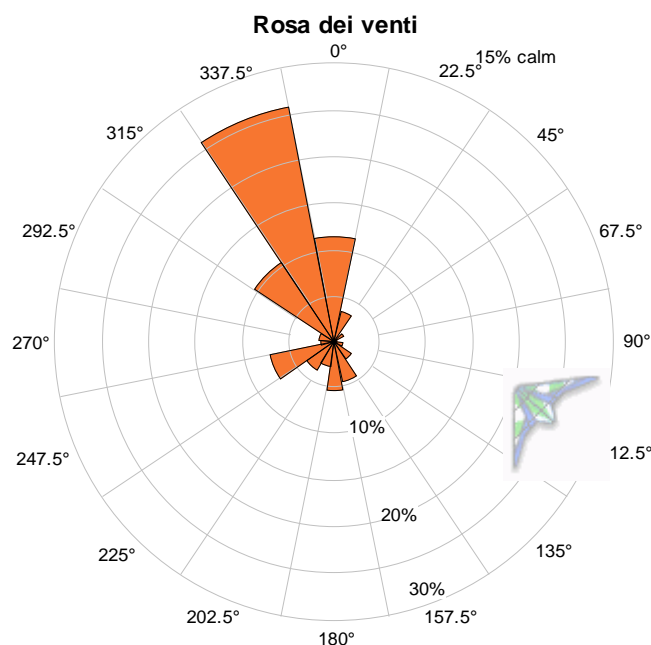


Figura 2 – Rosa dei venti.

Suddivisione dei parametri di interesse per settori di direzione

I dati validati del database annuale sono stati ordinati in base alla loro distribuzione orizzontale. Si è scelta una rappresentazione in 16 settori di ampiezza 22.5° ciascuno, come indicato in **Figura 2**. Non sono state considerate le calme di vento, cioè velocità inferiori a 1m/s .

La rosa dei venti mostra che la direzione prevalente del vento è dai settori settentrionali, tra NW e N. Circa il 25% dei dati è concentrato nel settore NNW. Presentano una certa frequenza anche venti provenienti dai settori meridionali, in particolare dai settori SSE – S e WSW.

Sebbene prevalgano i venti dai settori settentrionali, l'energia disponibile della risorsa è contenuta per più del 40% nel settore WSW (**Figura 3**). Da questo settore provengono infatti i venti più intensi, come viene evidenziato in **Figura 3** che presenta il valore medio di densità di potenza per settore di direzione.

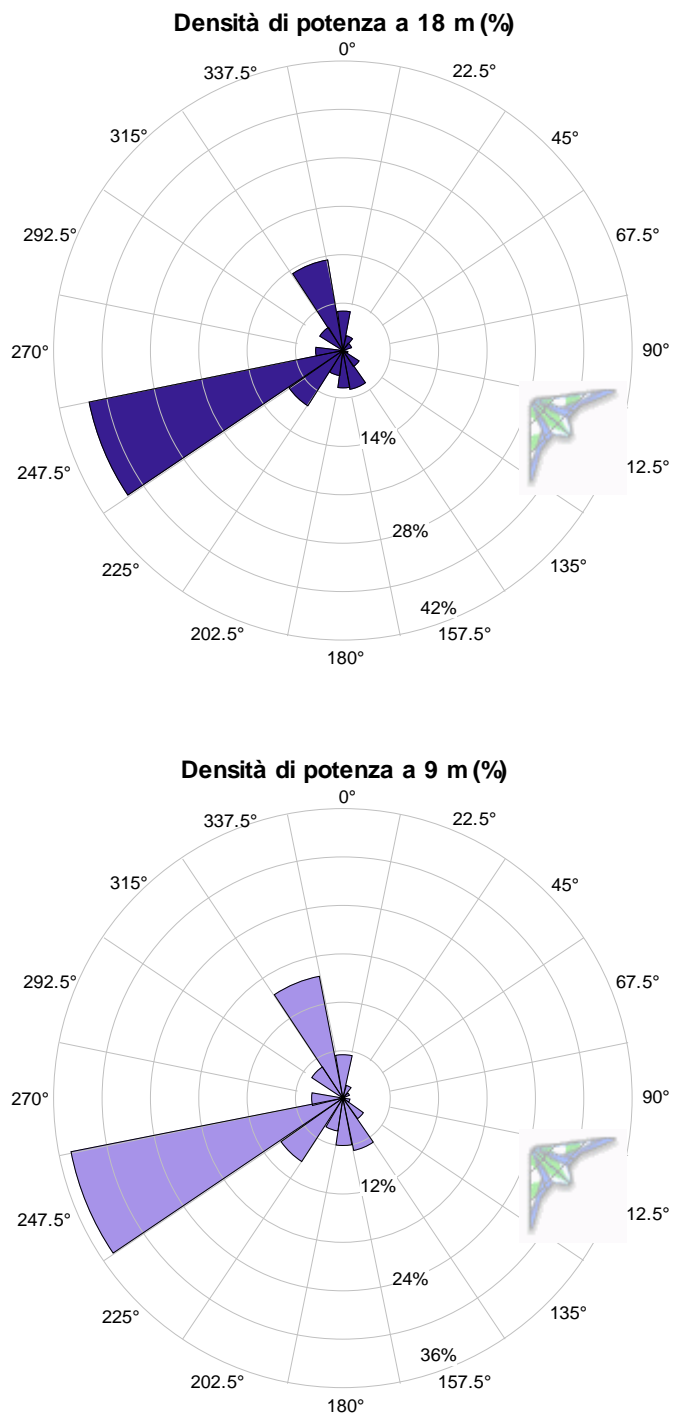


Figura 3 – Distribuzione della densità di potenza per settore di direzione.

Per maggiori informazioni

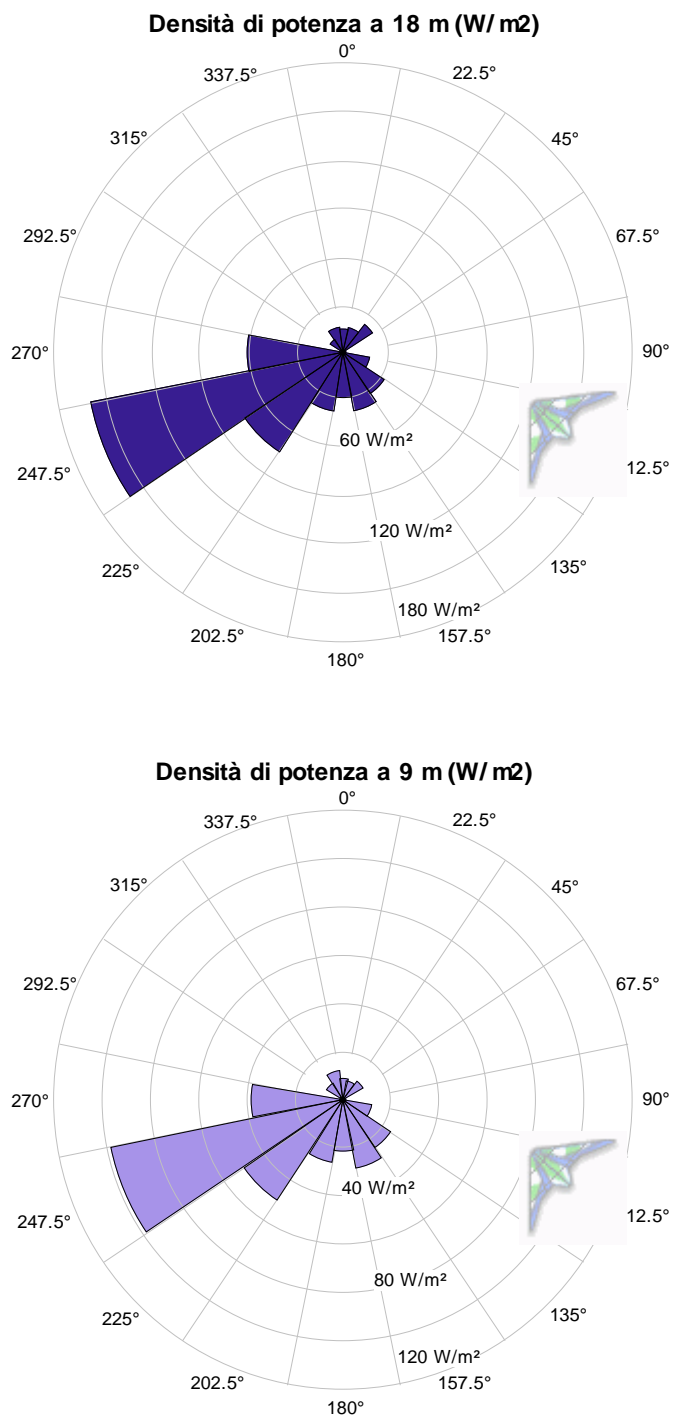


Figura 4 – Densità di potenza media per settore di direzione.

Per maggiori informazioni

Laboratorio di Macchine
Università degli Studi di Trento - Via Mesiano, 77 - 38123 Trento, Italy
Tel. +39 0461/282553, Fax +39 0461/282599 - e-mail: eolicotrento@ing.unitn.it

La **Figura 5** presenta l'intensità di turbolenza media per settore di direzione. Il valore è elevato per tutti i settori. Il settore più importante per la risorsa disponibile (WSW) presenta un valore inferiore rispetto ad altri settori con risorsa scarsa.

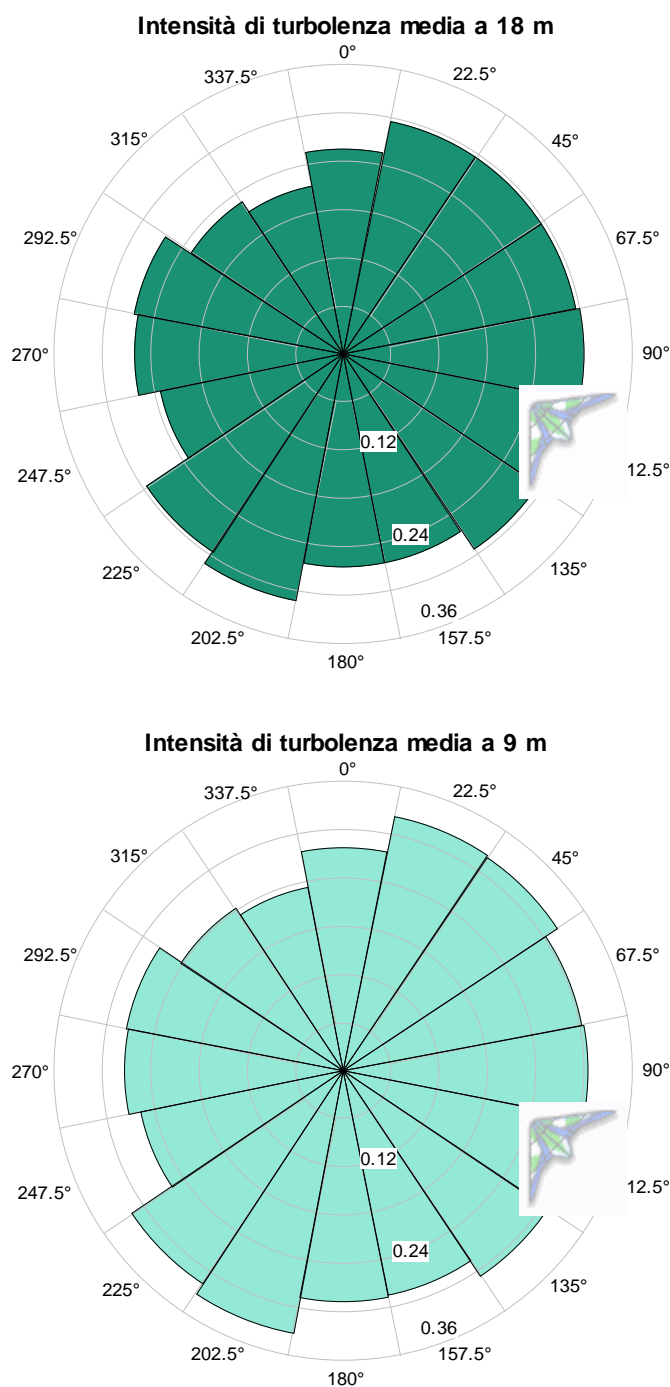


Figura 5 – Intensità di turbolenza, media per settore di direzione.

Profili giornalieri

In **Figura 6** sono presentati i profili giornalieri della velocità del vento e della densità di potenza a 18 metri e a 9 metri. Le ore con valori di velocità utili per conversione della risorsa disponibile per mezzo di aerogeneratori sono quelle pomeridiane, con il valore di picco alle 17.

Nelle ore pomeridiane, la risorsa disponibile a 9 metri è circa due terzi di quella a 18 metri (**Figura 7**).

Il vento ruota dai settori settentrionali (NNW), da cui soffia durante la notte fino alle 10 del mattino, verso i settori meridionali (SE – S) e poi prevalentemente dal settore WSW dalle ore 14 (**Figura 8**).

Ora del giorno	Vm 18r (m/s)	Vm 9m (m/s)
0	1.9	1.6
3	1.9	1.6
6	1.9	1.6
9	2.1	1.9
12	2.5	2.3
15	4.2	3.6
17	4.3	3.7
18	4.0	3.4
21	2.2	1.8
24	1.9	1.6

Figura 6 – Profilo giornaliero della velocità media a 18 e 9 metri dal suolo.

Ora del giorno	Densità di potenza a 18 m (W/m²)	Densità di potenza a 9 m (W/m²)
0	10	10
3	10	10
6	10	10
9	15	15
12	30	20
15	90	55
17	105	70
18	90	65
21	20	15
24	10	10

Figura 7 – Profilo giornaliero della densità di potenza a 18 e 9 metri dal suolo.

Per maggiori informazioni

Laboratorio di Macchine
Università degli Studi di Trento - Via Mesiano, 77 - 38123 Trento, Italy
Tel. +39 0461/282553, Fax +39 0461/282599 - e-mail: eolicotrento@ing.unitn.it

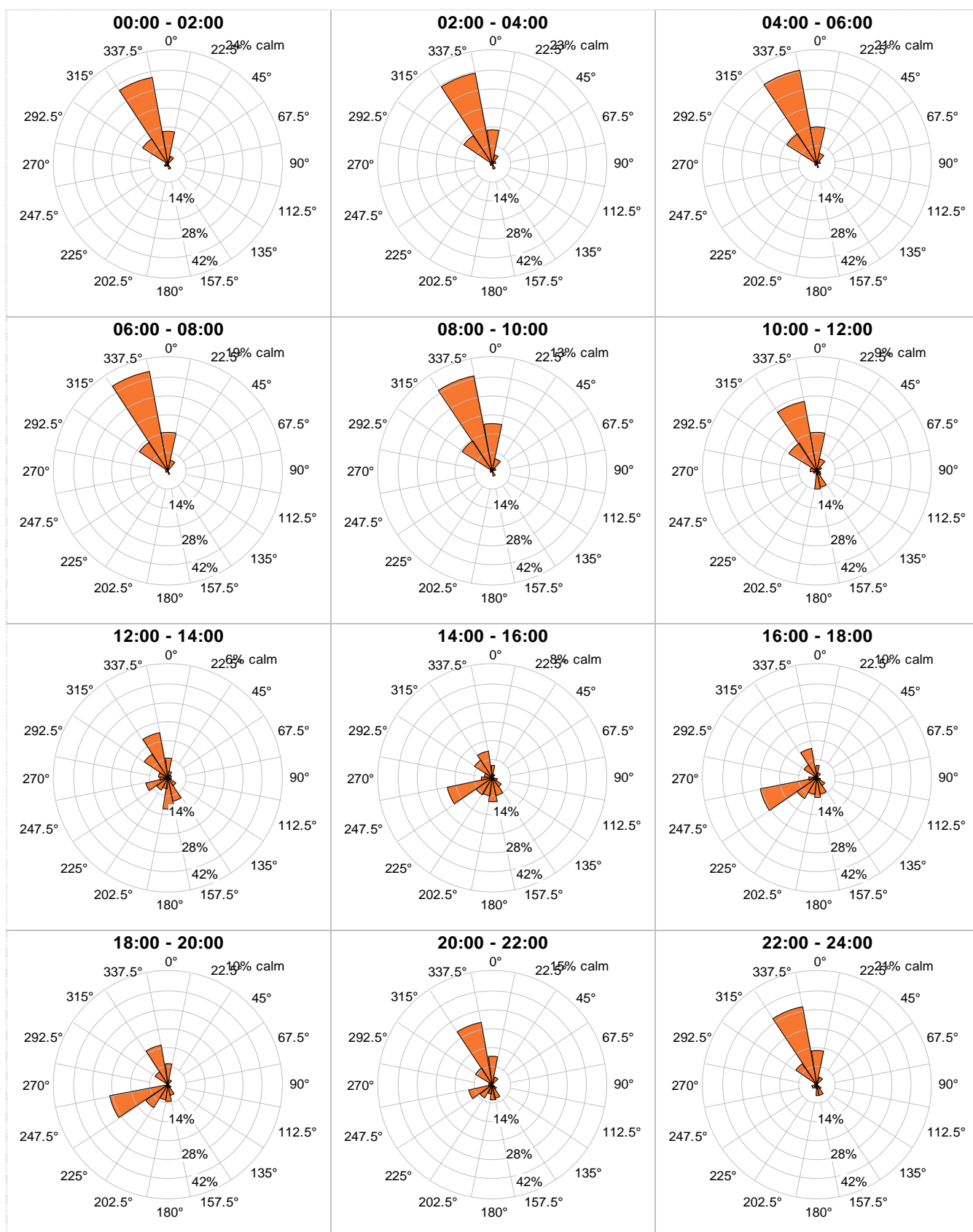


Figura 8 – Rosa dei venti per ora del giorno a 18 m.

Per maggiori informazioni

Profili mensili

Nei mesi che vanno da novembre a gennaio la risorsa è pressoché assente (**Figura 9**, **Figura 10** e **Figura 11**). I mesi di febbraio e marzo 2008 presentano i valori più elevati di risorsa disponibile. In giugno e luglio 2008 i valori sono inferiori alle aspettative, a causa della piovosità superiore alla media.

In tutti i mesi dell'anno, i settori in cui è concentrata la risorsa sono quelli sud occidentali, (**Figura 12** e **Figura 13**).

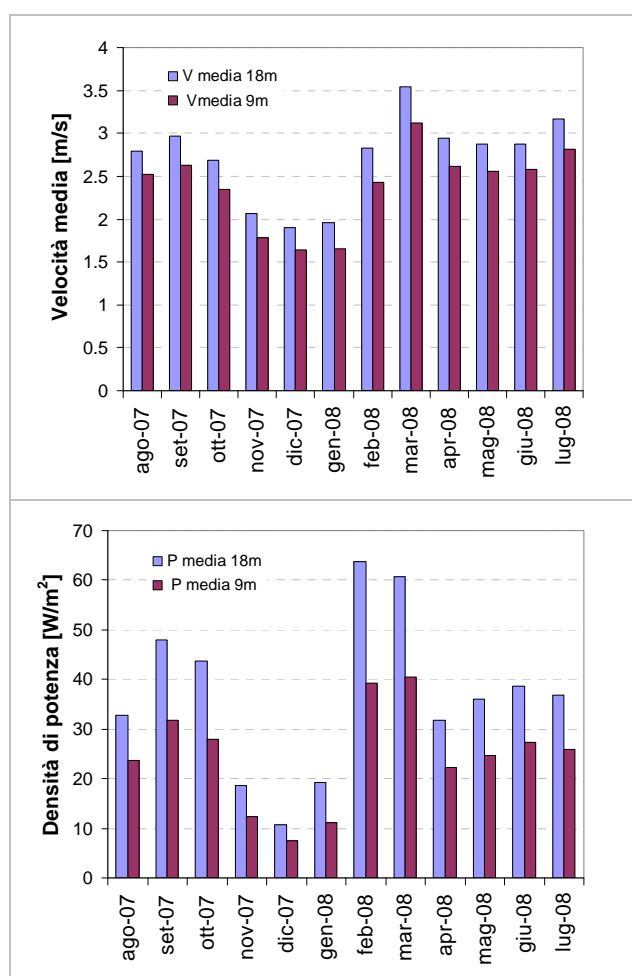


Figura 9 – Velocità media mensile [m/s] e densità di potenza media [W/m²] a 18 e a 9 metri dal suolo.

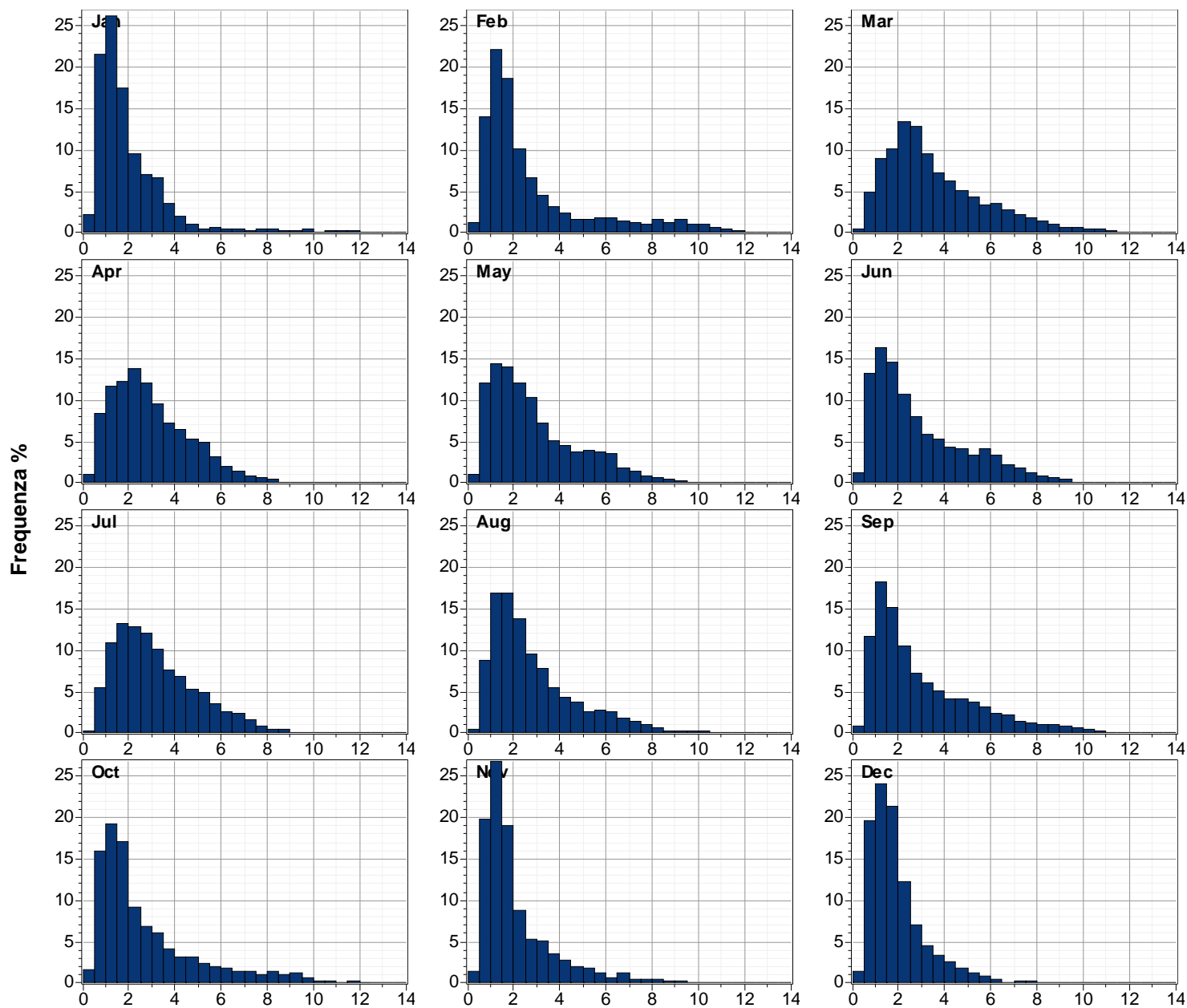


Figura 10 – Grafici mensili della distribuzione della velocità del vento a 18m.

Per maggiori informazioni

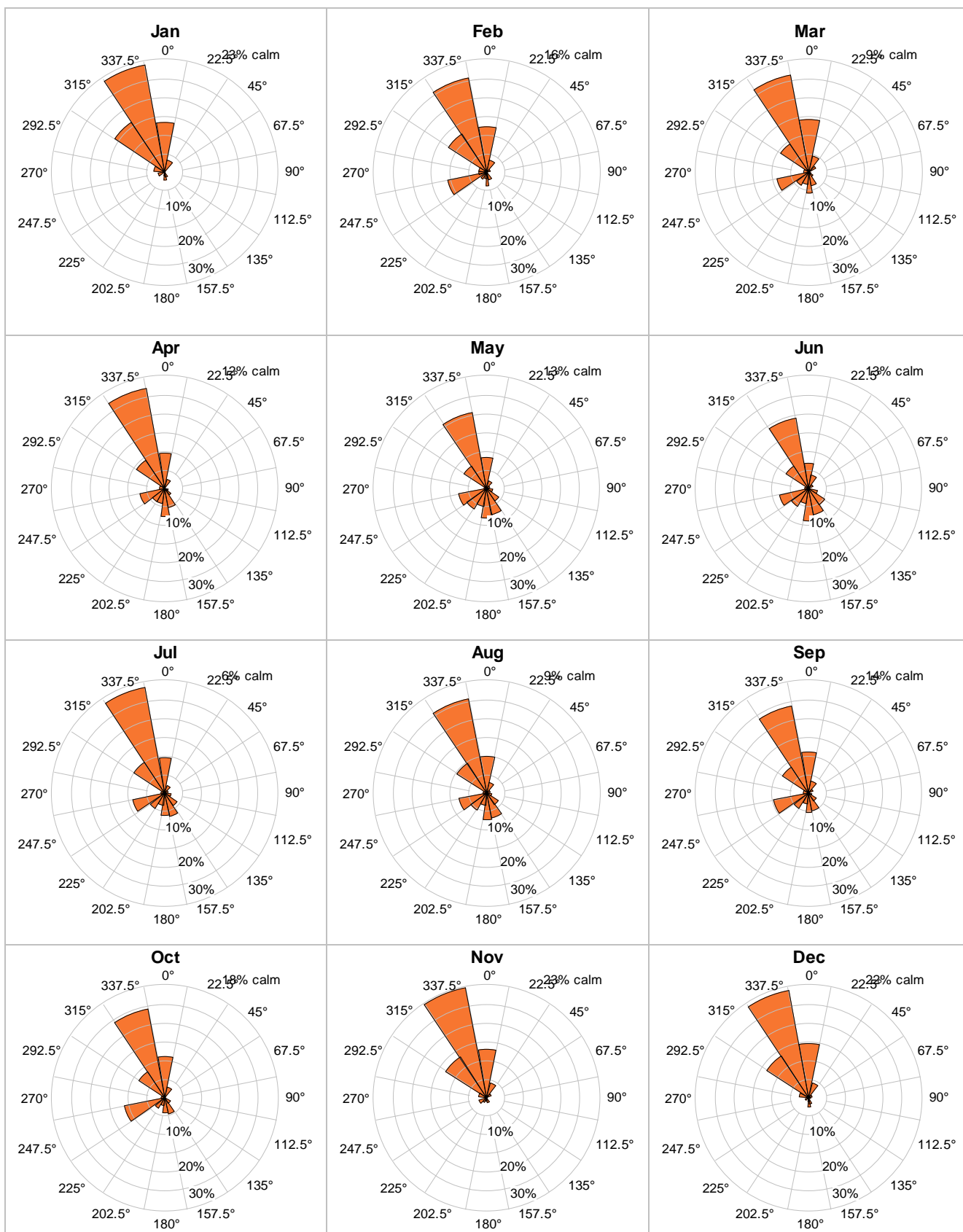


Figura 11 – Rose dei venti mensili a 18m.

Per maggiori informazioni

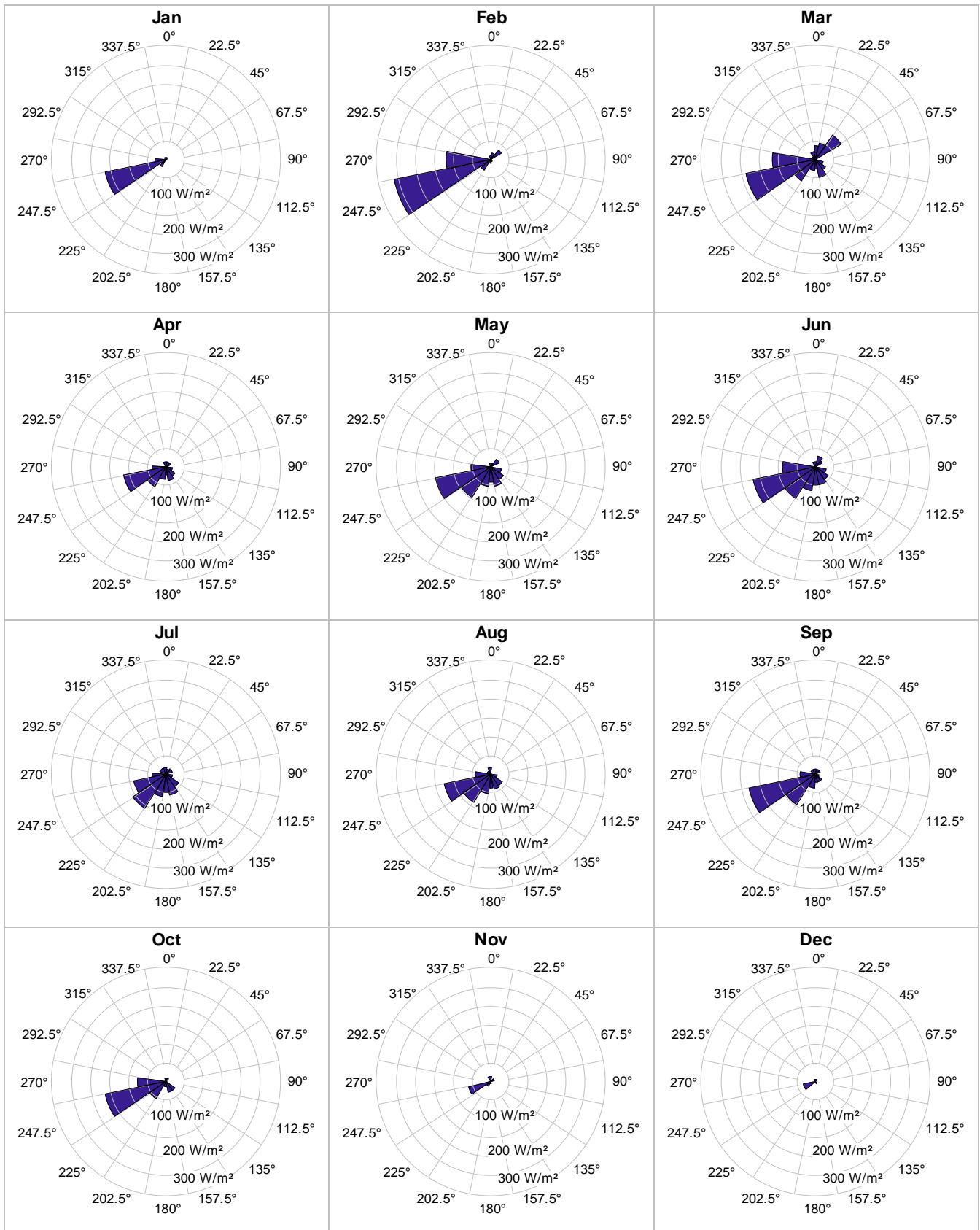


Figura 12 – Grafici mensili della densità di potenza media per settori a 18 m.

Per maggiori informazioni



PALO ANEMOMETRICO JIMP20

I dati qui considerati sono quelli acquisiti dai sensori installati sulla torre anemometrica più vicina all'aerogeneratore Jimp20 (**Torre anemometrica 1**) relativi al periodo agosto 2007 – luglio 2008. I dati rilevati in questa stazione sono meno rappresentativi del sito rispetto a quelli dell'altra torre anemometrica, i dati sono infatti parzialmente influenzati dalla costruzione del capannone a nord dell'autoparco; costruzione avvenuta a campagna anemometrica già avviata da alcuni mesi. Il database è costituito complessivamente da 52704 serie temporali di dati in formato numerico. La dimensione effettiva del database è inferiore poiché vi sono dei dati non validi a causa di temporanei malfunzionamenti di alcuni sensori o del sistema di trasmissione dati. I records validi sono 45115. I dati persi costituiscono quindi l' 14.4% del totale. In **Tabella 5** sono sintetizzati i dati relativi alla stazione e al database utilizzato per l'elaborazione.

Tabella 5 – Dati identificativi della stazione Jimp20 e della campagna di misura.

Variabile	Valore
Latitudine	N 46° 06' 48"
Longitudine	E 11° 05' 31"
Elevazione	192 m
Data iniziale	31/07/2007 23:00
Data finale	31/07/2008 23:00
Durata	12 mesi
Intervallo di media	10 minuti
N° di records del campione	52704
N° di records validi	45115
Records mancanti	7589
Data recovery rate (%)	85.6

Tabella 6 – Sintesi dei dati dai sensori.

Altezza dal suolo (m)	18m	9m
V media (m/s)	2.74	2.27
V massima sui 10 min (m/s)	14.53	12.48
Densità di potenza (W/m ²)	36	22
Energia disponibile(kWh/m ² /yr)	312	192
V media cubica(m/s)	3.846	3.325
Weibull k	1.395	1.344
Weibull c (m/s)	2.91	2.40
Ora con maggior risorsa	17	17
Intensità di turbolenza media	0.244	0.271
Frequenza di calme (%) < 1 m/s	13.91	21.97
Coeff. di autocorrelazione1-hr	0.767	0.785
Diurnal pattern strength	0.419	0.465



I valori riportati in **Tabella 5** e in **Tabella 6** non si discostano da quelli di Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. e di **Tabella 3**, valori relativi all'altra torre anemometrica. Le uniche differenze degne di nota sono per valori di turbolenza leggermente più elevati e per il diverso profilo di velocità verticale per alcuni settori di direzione. Come vedremo nei paragrafi successivi queste differenze sono da imputare principalmente alla presenza del capannone di nuova costruzione (aprile 2008) a nord dell'autoparco.

Poiché i dati complessivi delle due torri non presentano differenze sostanziali se non quelle suddette, le informazioni presenti nei paragrafi relativi all'elaborazione dei dati della torre anemometrica Gaia Wind possono essere ritenute rappresentative del sito. Non vengono quindi presentate in forma grafica o tabellare tutte le elaborazioni per la torre dedicata alla turbina Jimp20.