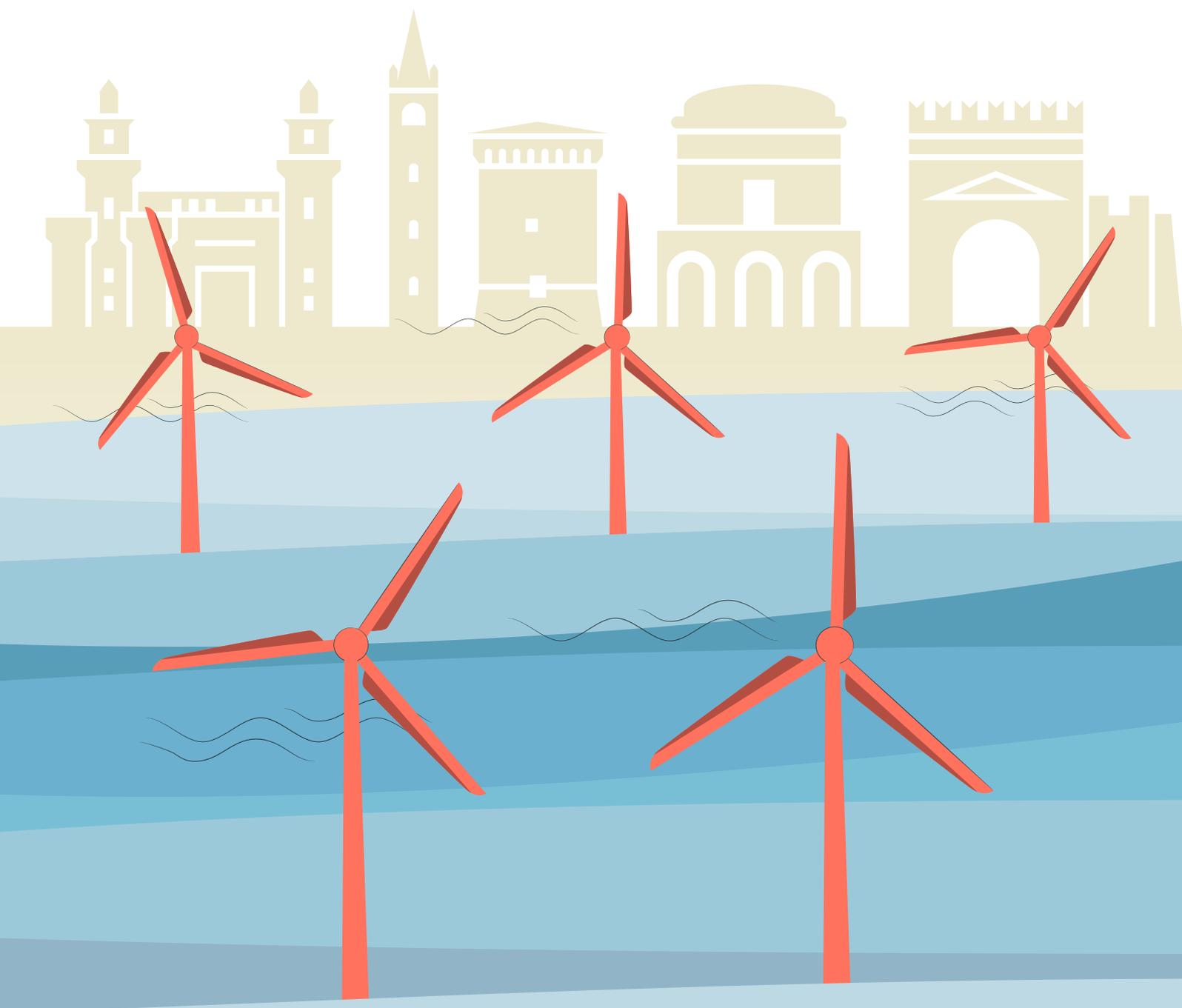


Atlante eolico Emilia-Romagna

EDIZIONE 2024



Atlante eolico Emilia-Romagna

EDIZIONE 2024

VERSIONE INTERATTIVA

L'Atlante eolico dell'Emilia-Romagna si presenta nella sua versione interattiva. Il dinamismo acquisito dalla pubblicazione ne agevola la consultazione, il confronto tra i dati rappresentati e il collegamento alle pagine esterne.

COLORE DELL'INTERAZIONE = GIALLO

SIMBOLI DELL'INTERAZIONE:



Segnale di interazione



Collegamento all'indice



Collegamento alla pagina Open Data, per accedere al portale Arpae dove sono disponibili tutti i dati dell'atlante eolico



Collegamento ai punti griglia rappresentativi della climatologia eolica in Emilia-Romagna

Indice interattivo



AUTORI E FONTI	4	3 Mappe	38
GUIDA ALLA CONSULTAZIONE	5	● MAPPE DELL'INTENSITÀ DEL VENTO	39
INTRODUZIONE	6	● MAPPE DELLA FREQUENZA DELLE CALME	41
● Normativa	6	● MAPPE DELLA FREQUENZA DEI VENTI FORTI	43
● Strumenti di misura per la caratterizzazione anemometrica dei siti	6	4 Andamenti annui	45
● Metodologia dell'atlante eolico	7	5 Open data Arpae	48
I PUNTI RAPPRESENTATIVI DELLA CLIMATOLOGIA EOLICA IN EMILIA-ROMAGNA	9	● ELENCO DEI DATI DISPONIBILI E LORO FORMATO	49
1 Andamenti mensili	10	Appendice	50
● Gli indici climatici	11	● DESCRIZIONE TECNICA DEL DATA-SET SPHERA	50
● Andamento mensile	11	● RISULTATI DI VALIDAZIONE DEL DATA-SET SHERA PER IL VENTO A 10 M	52
● CRINALE OCCIDENTALE	12	● Stazione di San Pietro in Capofiume	54
● CRINALE CENTRALE	14	● Stazione di Pennabilli	55
● CRINALE ORIENTALE	16	● Stazione di Varsi	56
● PIANURA OCCIDENTALE	18	● Stazione di Rimini Urbana	57
● PIANURA CENTRO-ORIENTALE	20	● Stazione di Madonna dei Fornelli	58
● OFF-SHORE	22	● Stazione di Rolo	59
2 Rose dei venti	24		
● CRINALE OCCIDENTALE	26		
● CRINALE CENTRALE	28		
● CRINALE ORIENTALE	30		
● PIANURA OCCIDENTALE	32		
● PIANURA CENTRO-ORIENTALE	34		
● OFF-SHORE	36		

Autori e Fonti

COORDINAMENTO TECNICO

Valentina Pavan

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

con la collaborazione di:

Giada Sannino

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Alice Vecchi

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Antonio Volta

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Gabriele Antolini

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Maria Stefania Tesini

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Vanessa Giorgione

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Enrico Minguzzi

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Davide Cesari

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Antonio Giordani¹

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Ines Cerenzia²

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

Andrea Selvini

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

L'atlante eolico dell'Emilia-Romagna 2024 è stato realizzato dall'Osservatorio Clima di Arpae

RESPONSABILE DELL'OSSERVATORIO CLIMA

Cinzia Alessandrini

Arpae - Struttura IdroMeteoClima

RESPONSABILE DI PROGETTO

Adele Lo Monaco

Arpae - Direzione Tecnica - Servizio Indirizzi tecnici e Reporting ambientale

Roberto Mallegni

Arpae - Direzione Tecnica - Servizio Indirizzi tecnici e Reporting ambientale

COORDINAMENTO EDITORIALE, REDAZIONE E PROGETTAZIONE INFOGRAFICHE

Caterina Nucciotti

Arpae - Direzione Tecnica - Servizio Indirizzi tecnici e Reporting ambientale

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Design People - www.design-people.it

ISBN: 979-12-81964-02-0

DATI ED ELABORAZIONI

Arpae Emilia-Romagna

FOTO CAPITOLI

freepik.com

¹ Affiliazione attuale: Dipartimento di Fisica ed Astronomia (DIFA), Università di Bologna

² Affiliazione attuale: RED - Risk, Engineering+Development, Pavia

Guida alla consultazione

ATLANTE EOLICO

L'atlante eolico descrive le caratteristiche del vento nei primi strati di atmosfera prossimi alla superficie sul territorio regionale dell'Emilia-Romagna e su una fascia del mare Adriatico fuori dalla costa regionale. Esso è strutturato in cinque capitoli:

1. "Andamenti mensili"
2. "Rose dei venti"
3. "Mappe"
4. "Andamenti annui"
5. "OpenData Arpae"

INTRODUZIONE

L'introduzione descrive il dataset utilizzato per produrre l'atlante eolico e lo mette in relazione con la bibliografia e le altre fonti cartografiche esistenti.



CAPITOLO 1 | ANDAMENTI MENSILI

Il primo capitolo, "Andamenti mensili", oltre a descrivere gli indici climatici eolici scelti e le loro principali caratteristiche a livello regionale, ne descrive la stagionalità in sei punti rappresentativi dei diversi regimi eolici regionali.



CAPITOLO 2 | ROSE DEI VENTI

Il secondo capitolo, "Rose dei venti", oltre a descrivere cosa si intende per rose dei venti e quali sono i nomi e le caratteristiche dei principali venti in Emilia-Romagna, descrive la stagionalità delle rose dei venti in sei punti rappresentativi dei diversi regimi eolici regionali in alcuni livelli verticali considerati.



CAPITOLO 3 | MAPPE

Il terzo capitolo, "Mappe", descrive la stagionalità e la dipendenza dalla quota delle mappe degli indici già introdotti nel capitolo 1, focalizzandosi su alcuni mesi e alcuni livelli verticali.



CAPITOLO 4 | ANDAMENTI ANNUI

Il quarto capitolo, "Andamenti annui", descrive gli andamenti annui degli stessi indici climatici già introdotti nel capitolo 1 nei sei punti rappresentativi dei diversi regimi eolici regionali, per il livello a 10 m sopra il suolo, e ne evidenzia le reciproche correlazioni.



CAPITOLO 5 | OPEN DATA ARPAE

Il quinto capitolo, "OpenData Arpae", descrive i dati che possono essere scaricati dalla risorsa degli OpenData Arpae dedicata all'atlante eolico e il loro formato.

APPENDICE

L'appendice contiene una descrizione tecnica più dettagliata del dataset utilizzato per produrre l'atlante eolico (SPHERA) e una validazione del campo di vento a 10 m sopra la superficie del suolo di SPHERA, con i dati osservati presso sei stazioni storiche della rete di monitoraggio di Arpae.

Introduzione

L'atlante eolico descrive la climatologia del vento negli strati dell'atmosfera **fino a 350 m dalla superficie**, su un'area che comprende l'intero territorio della regione Emilia-Romagna e un'ampia **area del mare Adriatico** adiacente alla costa regionale. L'atlante copre il periodo **dal 1995 al 2020** e descrive la variabilità spaziale della climatologia anemometrica utilizzando una griglia regolare con **risoluzione di circa 2 km**.

L'atlante è pubblicato da Arpae come supporto alla progettazione di impianti eolici. Tra le energie rinnovabili, l'energia eolica, cioè quella che si può ottenere da turbine azionate dal vento, assume un ruolo molto rilevante. A livello globale, assieme al fotovoltaico, l'eolico è la fonte rinnovabile che negli ultimi anni ha focalizzato la maggior parte degli investimenti del settore elettrico. Dal 2022 l'energia del vento a livello globale ha superato i 2000 TWh di produzione, comprendo circa un quarto della produzione rinnovabile complessiva¹. **In Italia, dal 2019 l'energia da fonti eoliche supera costantemente i 20 TWh annui e nel 2023 ha rappresentato il 9,2% dell'energia totale prodotta**². In generale, qualora negli strati superficiali presenti caratteristiche adeguate, il vento rappresenta una fonte di energia sufficientemente stabile di anno in anno, non affetta significativamente dal ciclo giornaliero, ma con una variazione sulle scale brevi, in associazione alla variabilità dei regimi meteorologici locali.

Normativa

L'attuale normativa vigente in Italia, basata sul Decreto Ministeriale del 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili" e sul Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199, di attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, richiede che la domanda per ottenere il **permesso di installazione di un parco eolico** venga accompagnata da una **specifica caratterizzazione anemometrica del sito**; essa deve includere i risultati di una **campagna di misura di almeno un anno** di dati anemometrici rilevati con continuità sul sito, così da provare che il progetto di installazione soddisfa criteri di adeguatezza e produttività.

In particolare, la legge regionale **N. 7 del 14 giugno 2024** della Regione Emilia-Romagna completa la legge **N. 26 del 23 dicembre 2004** in materia di Disciplina della programmazione energetica territoriale e indica che i parchi eolici possono essere costruiti solo qualora sia garantita una **producibilità specifica di almeno 2.300 ore equivalenti annue**.

Strumenti di misura per la caratterizzazione anemometrica dei siti

Poichè in generale il vento presenta un'alta variabilità spazio-temporale, una corretta caratterizzazione di ciascun sito richiederebbe dati relativi a più punti di misura che coprano tutta la superficie del parco eolico, e un periodo di osservazione di qualche decina di anni. Dal momento che non sono disponibili dataset osservativi di monitoraggio eolico in grado di soddisfare questi standard e i costi e i tempi per la loro realizzazione sono elevati, la normativa richiede di



*Strati atmosfera
dal suolo fino a 350 m*



*Territorio analizzato
intero territorio + area
mar Adriatico adiacente
alla costa*



*Intervallo temporale
1995-2020*



Normativa di riferimento
- **DM 10 settembre 2010**
- **D.Lgs 8 novembre 2021 n. 199**
- **LR n. 26 del 23 dicembre 2004**
- **LR n. 7 del 14 giugno 2024**

¹ <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/world/>

² <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/pubblicazioni/rapporto-mensile>

allegare al progetto le risultanze di una campagna di misura eolica di almeno 12 mesi per un punto di misura collocato sul sito del progetto, a meno che tale sito sia collocato sulla superficie del mare; in questo caso specifico, per la normativa attualmente vigente risulta invece sufficiente allegare al progetto una caratterizzazione anemometrica del sito basata su stime modellistiche o prodotte con strumenti di monitoraggio da satellite. Ai fini della valutazione della rappresentatività di questi dati dal punto di vista spaziale e temporale è poi auspicabile servirsi di stime della variabilità del vento; emerge quindi il problema di come stimare tale variabilità e metterla in relazione con i dati di una campagna osservativa di durata annuale, come quella richiesta per legge. Il problema può essere affrontato utilizzando un **dataset ottenuto da strumenti modellistici** in grado di stimare la variabilità spaziale e temporale del vento.

Va notato che la **misura modellistica** è affetta da documentati errori sistematici, e come tale non è direttamente confrontabile con i dati osservati in situ. Può però essere usata **per valutare la variabilità climatica** e, nel caso in cui i due data-set, osservativo e modellistico, si sovrappongano temporalmente, può aiutare a capire la rappresentatività del periodo osservativo in situ rispetto alla variabilità climatica. Inoltre, se il dataset modellistico ha una risoluzione spaziale sufficientemente alta, potrebbe permettere di valutare la variabilità del vento sull'intera area del sito.

Possiamo quindi concludere che la combinazione di questi due strumenti, uno osservativo, l'altro modellistico, permette di colmare le lacune di ciascun dataset e di ottenere una valutazione del sito discretamente affidabile.

L'uso di questo tipo di strumenti modellistici è abbastanza diffuso a livello internazionale, anche al fine di identificare le collocazioni più appropriate per eventuali parchi eolici, quelle cioè in cui ci si aspetta di rilevare ventosità adeguate ai fini di una proficua produttività delle turbine.

In generale **i prodotti modellistici globali** di descrizione del vento a basse quote **presentano una bassa incertezza solo per scale spaziali ampie** con risoluzioni fino a circa 50 km. La progettazione dei campi eolici e l'identificazione di siti adeguati alla loro installazione richiede, però, informazioni a più alta risoluzione, reperibili a partire dalle informazioni globali attraverso un **processo di regionalizzazione dinamica**, innestando cioè un modello regionale all'interno del modello globale **al fine di rendere all'utente informazioni con un dettaglio dell'ordine di alcuni km**. Per questo motivo gli atlanti eolici più esaustivi, pur avendo una sezione globale, che permette di apprezzare la variabilità della potenza eolica disponibile nelle varie aree e metterle a confronto, nonché la sua variabilità temporale, presentano anche informazioni dettagliate su regioni specifiche.

Metodologia dell'atlante eolico

L'atlante eolico di Arpae descrive la climatologia regionale del vento sul periodo 1995-2020 basandosi sul **dataset SPHERA**, ottenuto dalla **regionalizzazione della rianalisi ERA5** (ECMWF Reanalysis versione 5) **con il modello COSMO**. I dati afferiscono ai primi 350 m dell'atmosfera a partire dal suolo e hanno una **risoluzione orizzontale di circa 2 km**.

ERA5 include una descrizione completa dell'atmosfera dalla superficie fino a quote corrispondenti alla stratosfera (circa 50 km), dal 1948 a oggi, con risoluzione temporale oraria e risoluzione spaziale che, alle nostre latitudini, è di circa 35 km. Questo dataset, prodotto per il Servizio Copernicus dal Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine (ECMWF), è uno dei prodotti di monitoraggio della Terra **finanziati dall'Unione europea per il monitoraggio del Clima e dei Cambiamenti Climatici a livello globale ed europeo**.

Il modello **COSMO**, utilizzato fino al 2024 **per produrre previsioni operative sul territorio italiano ai fini di Protezione Civile**, è un modello non idrostatico che descrive in modo esplicito i processi fisici e termodinamici in atto nell'atmosfera. Ai fini della produzione del dataset **SPHERA**, **COSMO**, nella configurazione relativa alla risoluzione orizzontale di 2 km, è stato innestato all'interno di ERA5, così da offrire una descrizione più dettagliata della variabilità climatologica a livello

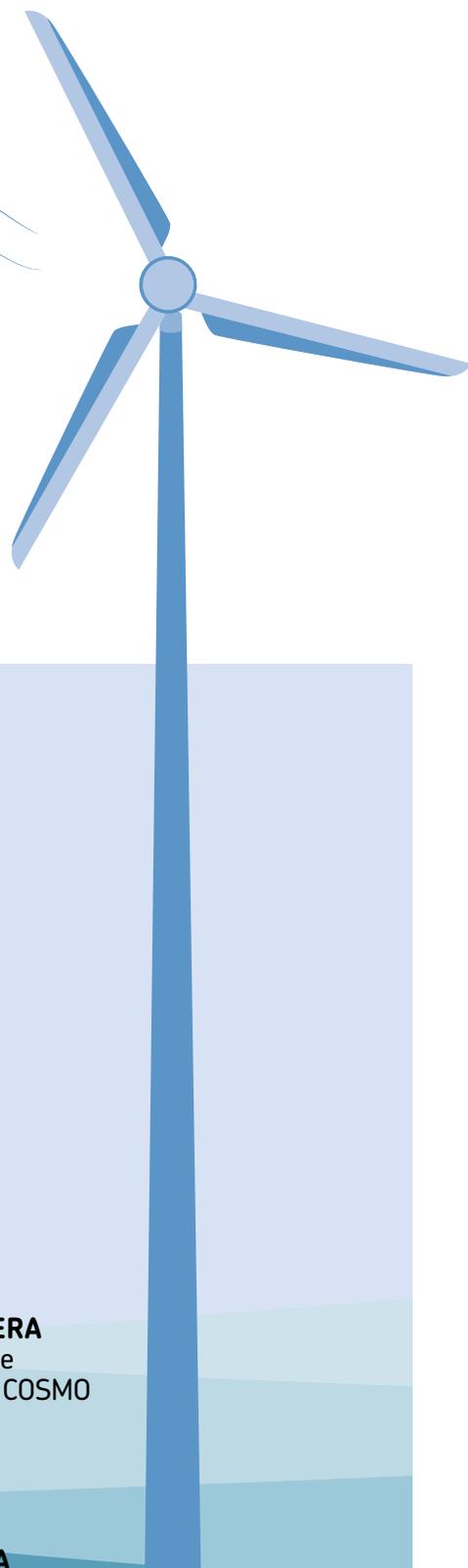
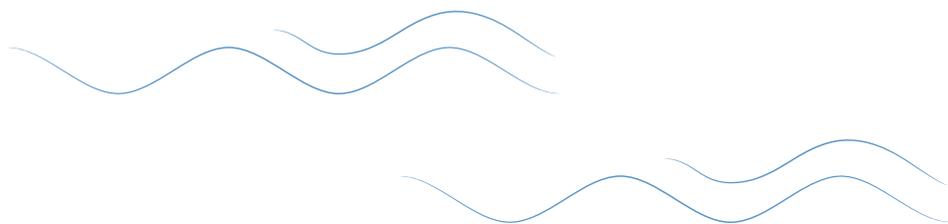
La combinazione di dataset osservativi e modellistici permette di ridurre gli errori sistematici dei modelli e stimare la rappresentatività delle osservazioni dal punto di vista spaziale e climatico

Processo di regionalizzazione dinamica innesto di un modello regionale su un modello globale

Dataset SPHERA ottenuto dalla regionalizzazione del modello ERA5 con il modello COSMO

Dataset ERA5 fornisce una descrizione dell'atmosfera con risoluzione spaziale di 35 km

Modello COSMO fornisce una descrizione dell'atmosfera con risoluzione spaziale di 2 km



nazionale. Questo dataset è stato già utilizzato all'interno del progetto Life ADA, per produrre mappe di pericolosità climatica per l'agricoltura per quanto riguarda eventi grandinigeni e legati al verificarsi di raffiche in superficie.

La descrizione così offerta della climatologia del campo eolico sulla regione Emilia-Romagna può considerarsi un prodotto allo stato dell'arte nel campo della climatologia modellistica, migliorativo sia rispetto a ERA5, sia rispetto al dataset utilizzato all'interno dell'atlante climatico dell'Emilia-Romagna (2015), in termini di riduzione degli errori sistematici e della rappresentazione della variabilità climatica locale.

Atlante eolico Emilia-Romagna in sintesi



Il territorio analizzato
l'intero territorio regionale
+ l'area del mare Adriatico
adiacente alla costa



Dataset utilizzato
SPHERA



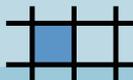
L'intervallo temporale
1995-2020



Caratteristiche dataset SPHERA
ottenuto dalla regionalizzazione
del modello ERA5 con il modello COSMO



**Il vento negli strati
dell'atmosfera**
dal suolo fino a 350 m



Risoluzione griglia di SPHERA
2 km



Normativa di riferimento
- Legge Regionale n. 7
del 14 giugno 2024
- Legge Regionale n. 26
del 23 dicembre 2004

I punti rappresentativi della climatologia eolica in Emilia-Romagna

Nel seguito, viene descritta la climatologia del vento in Emilia-Romagna tramite i grafici che presentano la stagionalità dei valori climatici mensili di alcuni indici anemometrici e le rose dei venti a varie altezze dal suolo in **alcuni punti rappresentativi del dataset**, evidenziati nella mappa sottostante:

- un punto nell'alta Val di Taro sul **crinale occidentale**;
- un punto prossimo alla cima del Monte Cimone, punto più alto dell'orografia regionale, sul **crinale centrale**;
- un punto nella provincia di Forlì-Cesena, sul **crinale orientale**;
- un punto in provincia di Reggio Emilia, prossimo alla stazione storica di Rolo, nella **pianura occidentale**;
- un punto nella pianura bolognese, prossimo alla stazione storica di San Pietro in Capofiume, rappresentativo delle aree di **pianura centro-orientale**;
- un punto posizionato sul mare Adriatico, che verrà chiamato nel testo **Off-shore**.

I punti sopra elencati sono stati scelti ai soli fini della descrizione delle caratteristiche generali della climatologia anemometrica della regione Emilia-Romagna, e una specifica caratterizzazione locale dovrà basarsi sui dati climatologici relativi ai punti di griglia più prossimi alla località prescelta, scaricabili dalla risorsa del portale OpenData di Arpae dedicata all'atlante eolico.

 **FIGURA 1**
Punti griglia rappresentativi del vento in Emilia-Romagna



1

Andamenti mensili



Gli indici climatici

Questa sezione riporta una serie di grafici che rappresentano gli andamenti climatici mensili, medi sul periodo 1995-2020, per i seguenti indici:

- l'**intensità media scalare** del vento;
- la **frequenza** di occorrenza **della calme di vento**, definita come la percentuale del numero di ore in cui il vento è localmente inferiore a 2 m/s, circa 7 km/h, rispetto al numero totale di dati orari disponibili per quel mese;
- la **frequenza** di occorrenza di **venti forti**, definita come la percentuale di ore in cui il vento è superiore a 20 m/s, circa 70 km/h, rispetto al numero totale di dati orari disponibili per quel mese.

Andamento mensile

I grafici rappresentano l'andamento mensile di ogni indice per tutte le quote disponibili: 10 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m e 350 m. Nei grafici è possibile selezionare l'andamento relativo a un solo livello, oppure confrontare fra loro tutti i livelli.

In generale, l'**intensità media scalare cresce** progressivamente spostandosi **dalla superficie verso gli strati più alti**; in particolare l'intensità media cresce più rapidamente nei primi 150 m dalla superficie, e meno rapidamente nei successivi 200 m considerati.

L'**andamento stagionale dell'indice dipende dal punto considerato e dalla quota**; in particolare, negli strati più prossimi al suolo la stagionalità presenta una maggiore variabilità spaziale a seconda della complessità orografica e della conformazione della superficie, mentre negli strati più alti presenta un'inferiore variabilità tra un punto e l'altro. I valori di **frequenza delle calme di vento**, cioè la percentuale di ore con venti inferiori a 2 m/s, presentano caratteristiche molto diverse a seconda della posizione geografica. **Nei punti di crinale come nel punto Off-shore questo indice è fortemente connesso all'intensità del**

vento negli strati superiori dell'atmosfera, ed è massimo in estate e alle quote più vicine alla superficie, per diminuire in inverno e nelle quote più alte. **Nei punti di pianura, oltre a essere influenzato dall'intensità del vento negli strati superiori, l'indice è anche influenzato dal verificarsi di intense inversioni termiche**, situazioni in cui diversamente dalla maggioranza dei casi la temperatura dell'aria cresce con la quota, rendendo l'aria particolarmente stabile e stratificata; queste condizioni sono tipiche della Pianura Padana soprattutto nei mesi autunnali e invernali. Si può infine notare che, nei mesi autunnali, le calme di vento prevalgono decisamente nelle pianure occidentali, mentre raggiungono al più percentuali intorno al 50% nelle pianure centro-orientali, più vicine alla costa.

Gli indici di **frequenza di venti forti**, superiori a 20 m/s, presentano ovunque valori generalmente **crescenti con la quota e più alti nei mesi invernali e inferiori nei mesi estivi**.

Nel sito Off-shore la frequenza di eventi di vento forte è sempre inferiore al 2% del numero totale dei dati solo per quote inferiori a 50 m. Sopra a questa quota, i valori crescono progressivamente e si raggiunge una frequenza massima intorno al 3% dei dati totali per il mese di febbraio e per quote maggiori o uguali a 250 m. In pianura, a tutte le quote considerate, gli eventi di vento forte sono sempre meno dello 0,7% del numero totale di dati. I valori di frequenza scendono a meno dello 0,1% dai 200 m di quota in giù. Nei siti di crinale le frequenze di venti forti variano a seconda della quota e dell'esposizione del sito considerato, ma per siti di crinale ed esposti le frequenze di questi eventi sono sempre maggiori che altrove in regione. I valori più alti di questo indice si osservano nel sito più esposto, in corrispondenza del crinale centrale nel punto griglia più vicino alla cima del Monte Cimone, dove alle quote più alte, nei mesi tra novembre e marzo, si possono raggiungere frequenze intorno al 9% del numero di dati totali.



TORNA
ALL'INDICE



OPEN
DATA



PUNTI
GRIGLIA

Crinale occidentale



I valori degli indici in questo punto di griglia presentano caratteristiche simili a quelli del punto del Crinale centrale, ma con andamenti meno regolari, dovuti al fatto che il punto presenta una quota simile ad altri rilievi presenti nella stessa area e, quindi, risente di più della complessità orografica del territorio circostante. In questo punto di griglia, l'intensità del vento cresce sempre con la quota, più velocemente nei primi 50 m a partire dal suolo, meno velocemente nei successivi 150 m; sopra i 200 m, l'aumento con la quota è quasi assente d'estate, lieve nei mesi invernali. In generale, **l'intensità media scalare del vento presenta valori minimi nei mesi di agosto e settembre, e massimi a gennaio e dicembre**. In questo punto di griglia l'intensità media scalare mensile supera a tutte le quote considerate e in tutti i mesi il valore di 2 m/s e sopra i 100 m si mantiene sempre superiore ai 5 m/s.

La frequenza delle calme in questo punto è massima alle quote più basse, dove assume valori che oscillano tra un quarto dei valori totali a marzo e aprile e un terzo dei valori totali a settembre e ottobre, e cala molto rapidamente nei primi 50 m di quota per poi calare meno

velocemente nei successivi 100 m. Oltre i 200 m si notano variazioni di questo indice all'aumentare della quota solo nei mesi estivi. In questi mesi, la frequenza delle calme cresce all'aumentare della quota specialmente nel mese di giugno, un comportamento peculiare, che si può osservare anche nei dati di frequenza di venti molto forti, superiori a 28 m/s (circa 100 km/h) non inclusi in questo atlante; questo fenomeno potrebbe essere legato alla presenza di onde di gravità, che provocano momentanee intense fluttuazioni dell'intensità del vento, parzialmente catturate dal modello. La frequenza delle calme alle quote più alte oscilla tra il 6 e il 13% del numero totale dei valori osservati.

La frequenza di venti forti, superiori a 20 m/s, presenta valori nulli nei primi 50 m, per poi crescere progressivamente con la quota. Dal punto di vista della stagionalità, qui l'indice presenta **valori minimi in estate e massimi in inverno**, con frequenze inferiori allo 0,1% del totale in estate a quote inferiori a 150 m a frequenze di poco inferiori al 4% dei valori totali nei mesi invernali alle quote più alte.



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Sempre superiore a 2 m/s con massimi fino a 9,5 m/s



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Tra 6% alle quote più alte e 34% del totale dei dati alle quote più basse



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Sempre inferiori all'1% fino a 150 m, e fino al 4% del totale dei dati alle quote più alte



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI



FIGURA 2
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

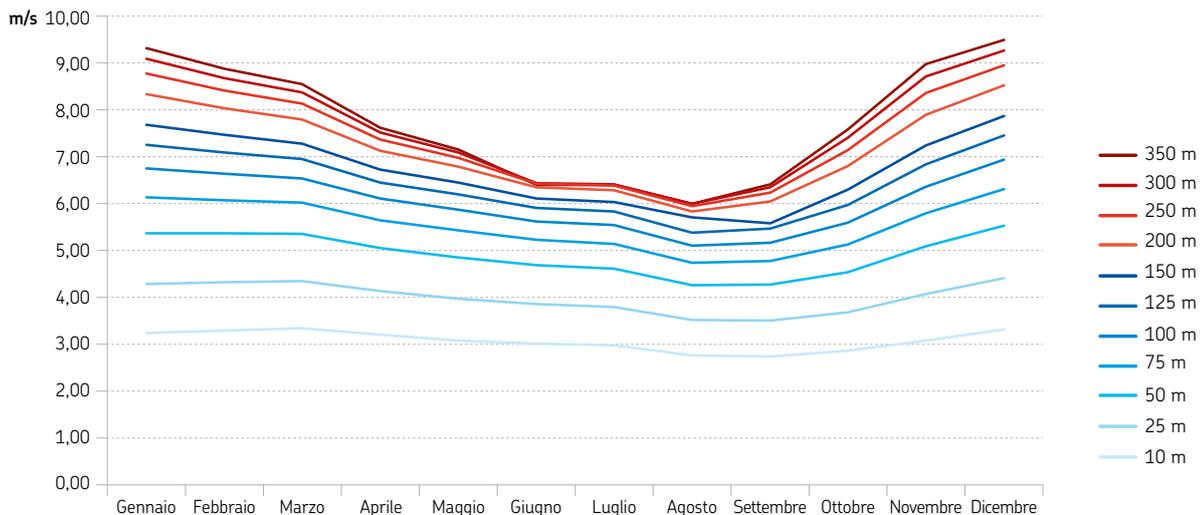


FIGURA 3
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

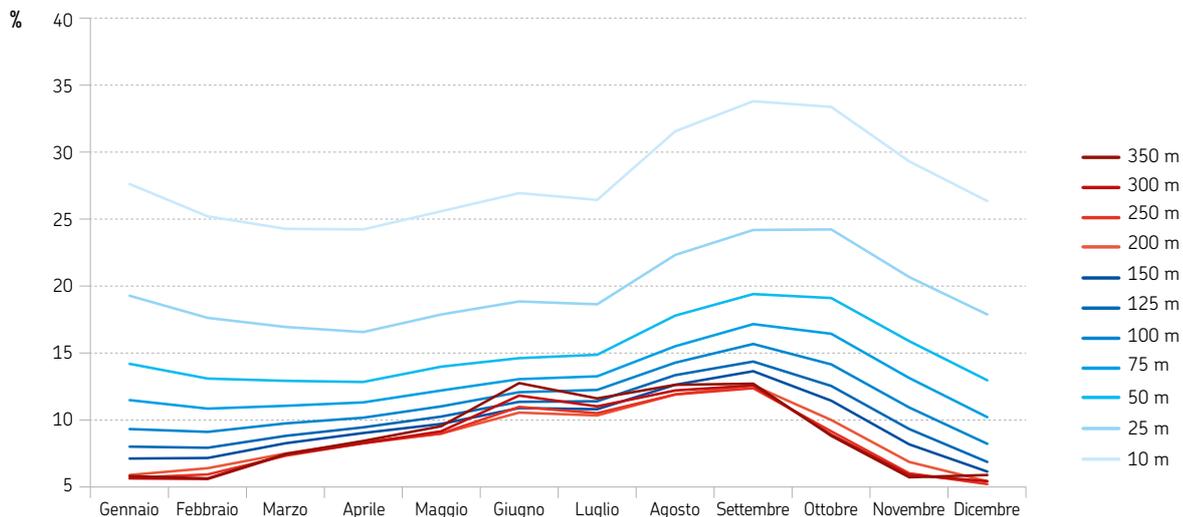
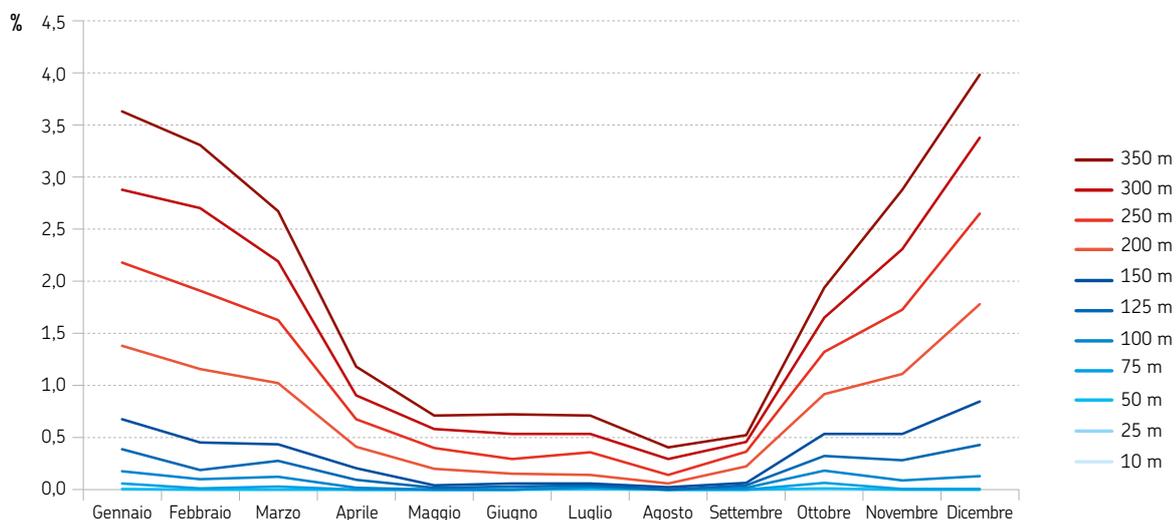
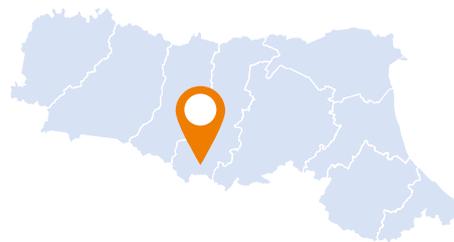


FIGURA 4
Frequenza di venti forti (1995-2020)



Crinale centrale



I valori degli indici in questo punto di griglia presentano caratteristiche simili a quelli del punto del Crinale occidentale, seppure con andamenti più regolari, dovuti al fatto che il punto è stato scelto in corrispondenza delle cime più alte della regione, e quindi presenta caratteristiche eoliche meno influenzate dalla complessità orografica circostante e più simili all'aria libera.

Qui **l'intensità media scalare del vento cresce sempre con la quota**, più intensamente nei primi 50 m, meno intensamente nei successivi 200 m, per poi crescere molto lievemente sopra i 250 m. L'intensità media del vento presenta **valori minimi nei mesi di luglio e agosto, e massimi tra novembre e gennaio**. In queste aree del crinale, le intensità mensili si mantengono sempre superiori a 4 m/s anche in superficie e oltre i 100 m di quota sono sempre superiori a 6 m/s, raggiungendo valori massimi di poco inferiori a 11 m/s a 350 m dal suolo nei mesi più ventosi.

In questo punto, la **frequenza delle calme di vento è massima alle quote più basse, dove oscilla tra il 12% dei valori a dicembre e il 20% a luglio**. L'indice cala molto rapidamente nei primi 50 m di quota per poi calare più lievemente nei successivi 100 m. **Alle quote superiori a 200**

m i valori sono tra i più bassi, tra il 4 e il 6% dei valori a febbraio e tra il 10 e il 12% dei valori nei mesi estivi; salendo tra i 200 e i 350 m di quota si notano variazioni di intensità del vento solo nei mesi estivi. In questi mesi la frequenza delle calme cresce con la quota specialmente nel mese di giugno, un fenomeno peculiare, che trova una corrispondenza nei dati di frequenza di venti molto forti, superiori a 28 m/s (circa 100 km/h), non inclusi in questo atlante; questo fenomeno potrebbe essere legato alla presenza di onde di gravità, che provocano momentanee ampie fluttuazioni dell'intensità del vento, parzialmente catturate dal modello.

La **frequenza di venti forti**, superiori a 20 m/s, presenta **valori nulli solo a 10 m, per poi crescere progressivamente con la quota**, poiché il punto è posto a un'altitudine elevata, in corrispondenza della vetta più alta dell'Appennino settentrionale. I valori massimi, di poco inferiori al 9% del numero totale, possono essere raggiunti a gennaio alle quote più alte. Dal punto di vista della stagionalità, l'indice presenta **valori minimi tra luglio e settembre nei primi 100 m di quota**, al di sopra dei quali agosto diventa il mese meno ventoso dell'anno. I **valori massimi dell'indice si registrano invece tra novembre e gennaio** in corrispondenza dei valori più intensi del vento medio mensile.



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Tra 4 m/s in superficie e 11 m/s alle quote più alte



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Tra il 4% e il 20% del totale dei dati



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Sempre inferiori allo 0,5% fino a 25 m, fino al 9% del numero totale di dati alle quote più alte



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI



CRINALE OCCIDENTALE



CRINALE ORIENTALE



PIANURA OCCIDENTALE



PIANURA CENTRO ORIENTALE



OFF-SHORE

FIGURA 5
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

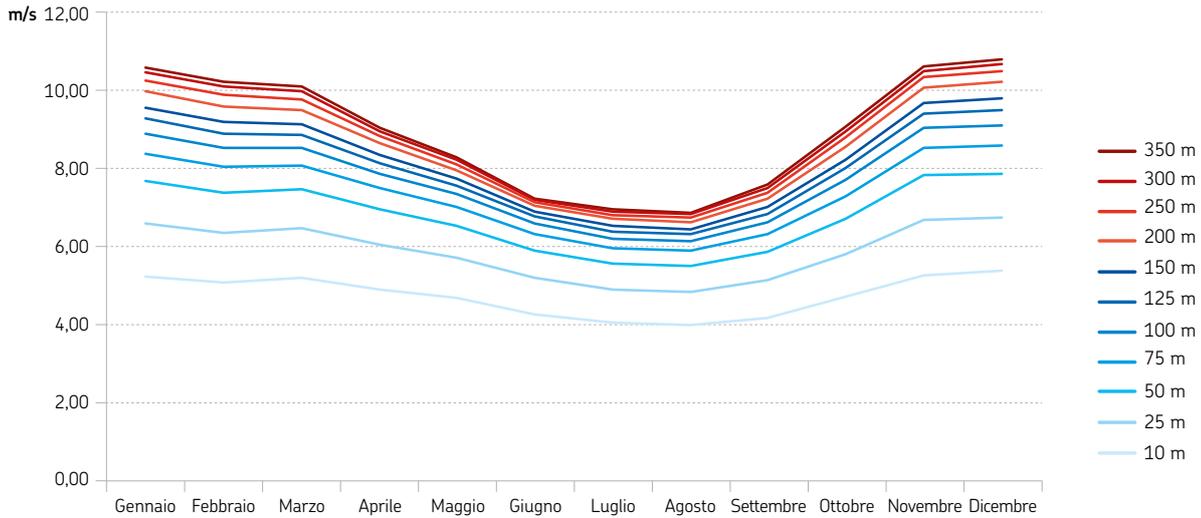


FIGURA 6
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

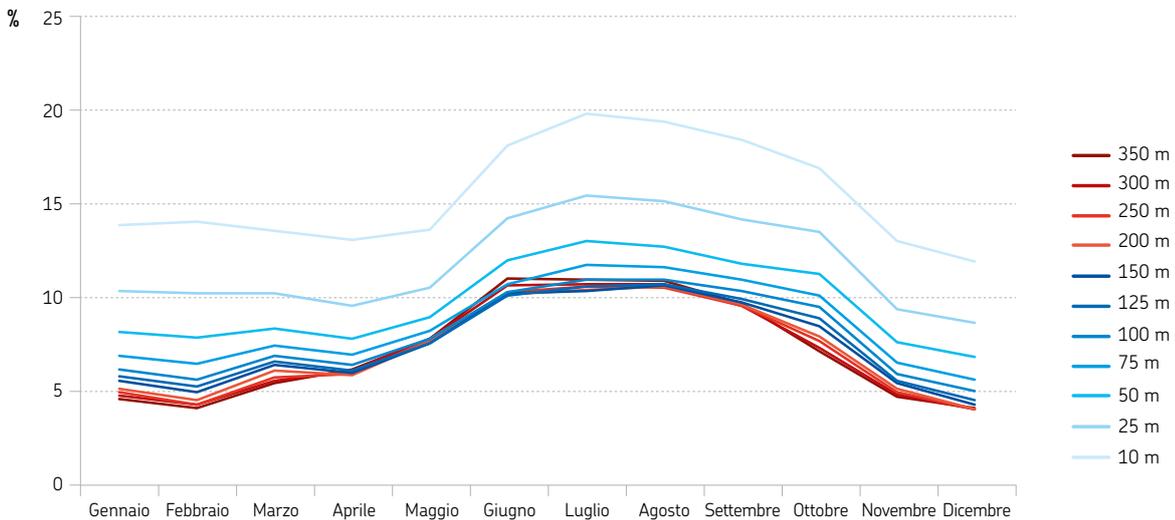
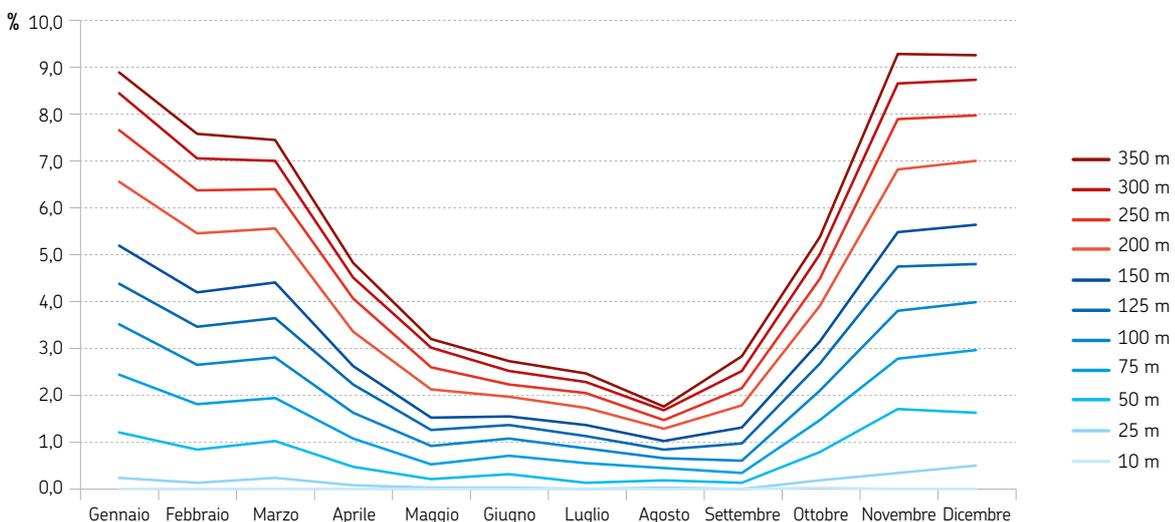


FIGURA 7
Frequenza di venti forti (1995-2020)



Crinale orientale



Questo punto presenta alcune caratteristiche simili agli altri punti di crinale. Qui, a tutte le quote, **il mese meno ventoso è agosto**, mentre **i mesi più ventosi sono quelli da novembre a marzo**, con valori lievemente maggiori a marzo soprattutto alle quote più basse. Negli strati più prossimi alla superficie il vento medio oscilla tra 2,7 e 3,6 m/s, ma a quote superiori a 100 m presenta valori medi climatici quasi sempre superiori a 5 m/s e sopra i 200 m nei mesi invernali supera sempre gli 8 m/s.

Come negli altri punti di crinale, anche qui **l'intensità media scalare del vento cresce più velocemente nei primi 50 m di quota**. Nei successivi 300 m l'intensità continua a crescere meno velocemente con variazioni che calano progressivamente con la quota. A differenza degli altri due punti di crinale, però, oltre i 250 m si notano ancora differenze, possibilmente dovute al fatto che qui l'orografia è più bassa rispetto agli altri crinali regionali.

La **frequenza delle calme di vento cala con la quota, velocemente nei primi 50 m, più lentamente nei livelli superiori**. Vicino alla superficie il mese con più calme di vento è **ottobre**, quando la frequenza di questi eventi raggiunge il **valore massimo di 42%**, probabilmente in relazione alla

presenza di inversioni termiche, durante le quali la temperatura cresce con la quota diversamente da quanto normalmente succede; queste condizioni rendono in generale i primi strati dell'atmosfera più stabili anche in montagna.

Negli strati superiori, invece i valori di ottobre, pur rimanendo più alti degli altri, diventano sempre più simili a quelli registrati a **giugno**, che in quota è **uno dei mesi meno ventosi** e meno interessati probabilmente da brezze termiche. **Il mese con meno calme di vento vicino alla superficie è invece il mese di marzo**, quando la frequenza di calme è pari al 31% del totale dei valori considerati. Sopra i 150 m dalla superficie i valori dell'indice oscillano tra il 5% e il 18% dei valori totali.

Come negli altri punti di crinale, **la frequenza di venti forti cresce con la quota**. Gli eventi sono praticamente assenti nei primi 25 m dalla superficie e poi crescono in frequenza con la quota, con valori che oscillano tra i minimi di agosto e i massimi che, alle quote più basse, si rilevano a gennaio e, nelle quote più alte, a novembre. Sopra i 125 m dalla superficie i venti forti **possono arrivare a rappresentare più del 3,8% della totalità dei dati nei mesi di dicembre e marzo**.



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Tra 2,8 m/s in superficie ad agosto e 9,7 m/s alle quote più alte a dicembre



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Tra 5% alle quote più alte e 42% dei valori totali in superficie



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼



Range dei valori - Sempre inferiori all'1% fino a 50 m, e fino all'8,8% dei valori totali alle quote più alte



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI



CRINALE OCCIDENTALE



CRINALE CENTRALE



PIANURA OCCIDENTALE



PIANURA CENTRO ORIENTALE



OFF-SHORE

FIGURA 8
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

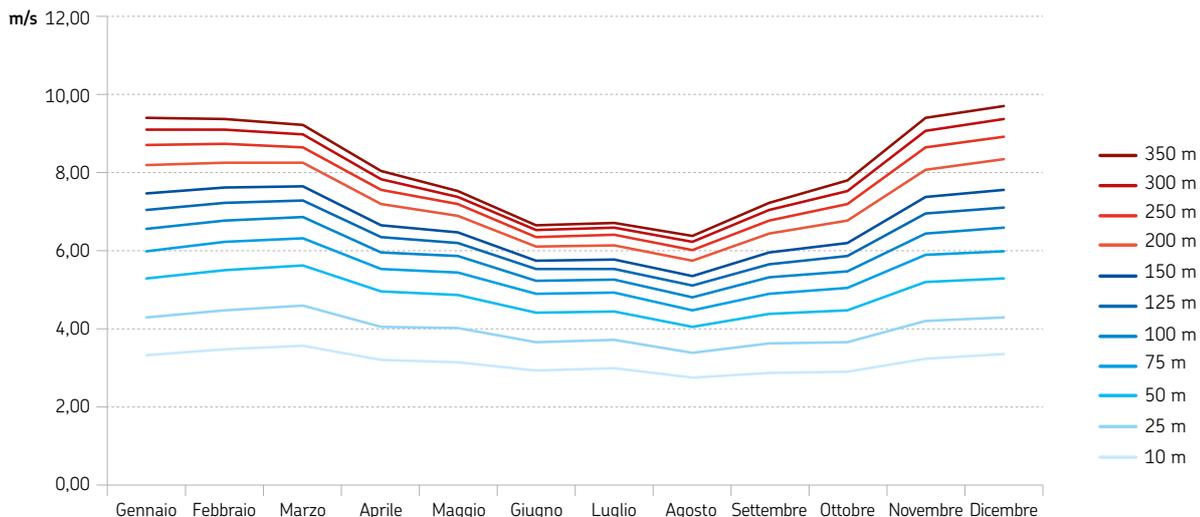


FIGURA 9
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

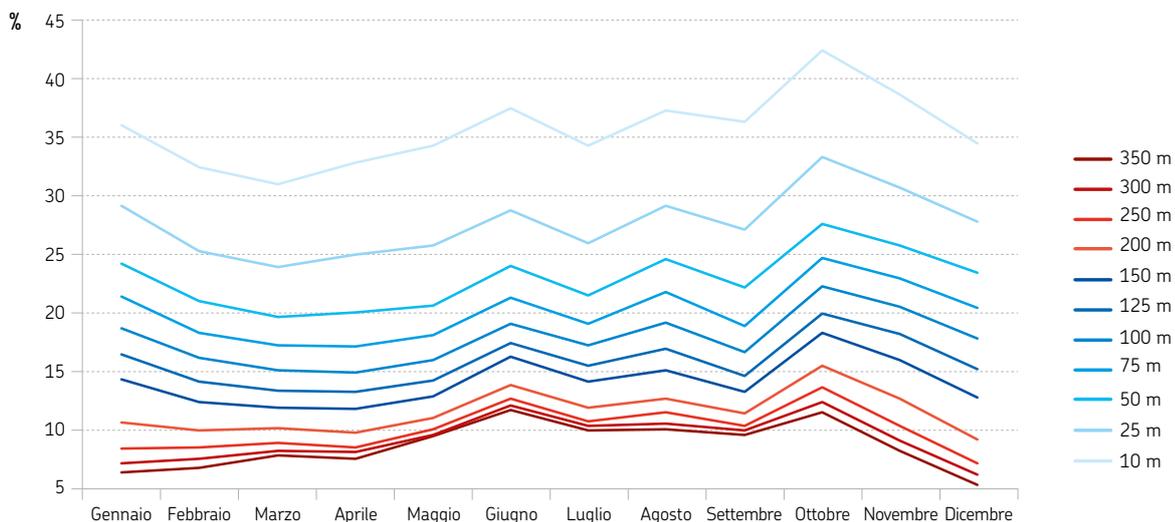
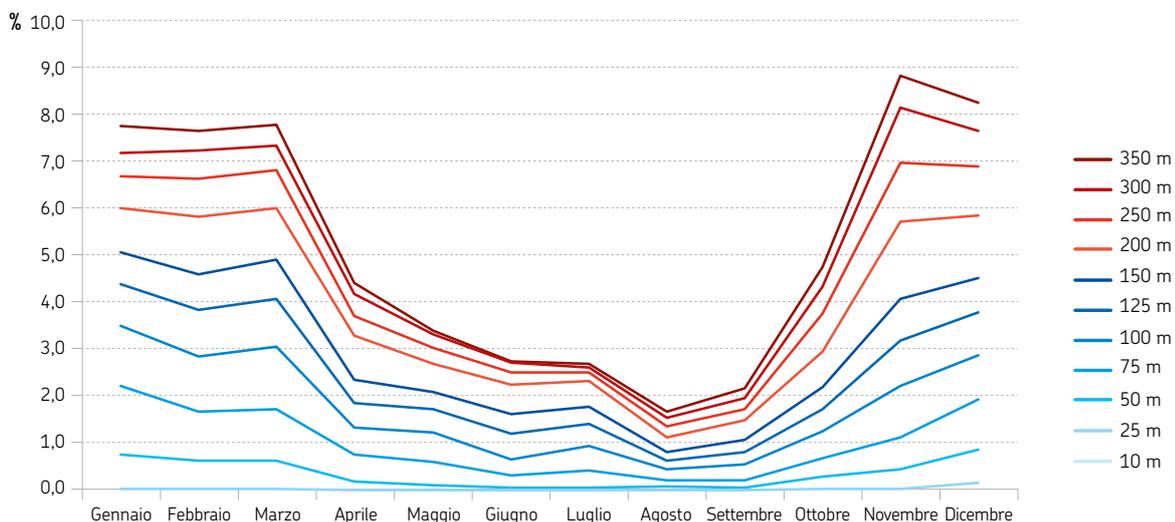


FIGURA 10
Frequenza di venti forti (1995-2020)



Pianura occidentale



Nella pianura occidentale, come anche in quella centro-orientale, **l'intensità media scalare del vento cresce progressivamente con la quota**, più velocemente nei primi 75 m, meno velocemente nei successivi 175 m, per poi rimanere quasi costante sopra i 250 m di quota. **A 10 m il vento medio non supera mai i 2,7 m/s di intensità.** Fino a circa 250 m dal suolo i mesi meno ventosi sono quelli da ottobre a gennaio; a quote più alte, i mesi di agosto e ottobre presentano valori dell'indice fra loro simili, e più bassi degli altri mesi. Fino a 50 m dal suolo il mese più ventoso è luglio, probabilmente grazie alle brezze termiche della pianura, mentre alle quote superiori il mese più ventoso è marzo.

La frequenza delle **calme di vento** in questa porzione della pianura è massima vicino **alla superficie**, dove oscilla **tra il valore minimo di luglio, pari al 38%** del numero totale di dati, probabilmente grazie all'influenza

delle brezze termiche, **ai valori massimi di ottobre e gennaio di poco inferiori al 60%**. Questi alti valori di frequenza delle calme di vento al suolo sono sicuramente legati all'altissima frequenza delle inversioni termiche, durante le quali la temperatura dell'aria cresce con la quota; queste condizioni rendono gli strati più bassi dell'atmosfera particolarmente stagnanti. Le calme di vento presentano delle frequenze dimezzate rispetto alla superficie già a 100 m di quota. Al di sopra di questa quota ottobre rimane il mese con massima frequenza di calme.

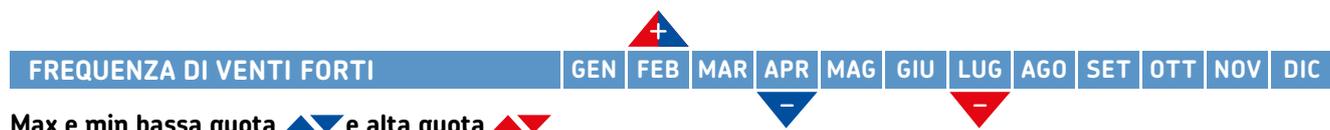
La frequenza di venti forti è praticamente nulla fino a 150 m sopra al suolo; a quote più alte, cresce nei mesi tra settembre e aprile, con un **massimo** più pronunciato **negli strati più alti a febbraio**, il mese mediamente più ventoso, quando a 350 m dal suolo si arriva alla frequenza dello 0,7% dei valori totali.



Range dei valori - Sempre inferiori ai 2,7 m/s a 10 m, fino a un massimo di 5,7 m/s alle quote più alte



Range dei valori - Tra il 15% dei dati totali ad alta quota e il 58% dei dati totali in superficie



Range dei valori - Inferiori allo 0,04% dei dati fino a 150 m di quota, con massimi fino allo 0,7% dei dati totali a febbraio a 350 m

TORNA ALL'INDICE
 OPEN DATA
 PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI
 CRINALE OCCIDENTALE
 CRINALE CENTRALE
 CRINALE ORIENTALE
 PIANURA CENTRO ORIENTALE
 OFF-SHORE

FIGURA 11
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

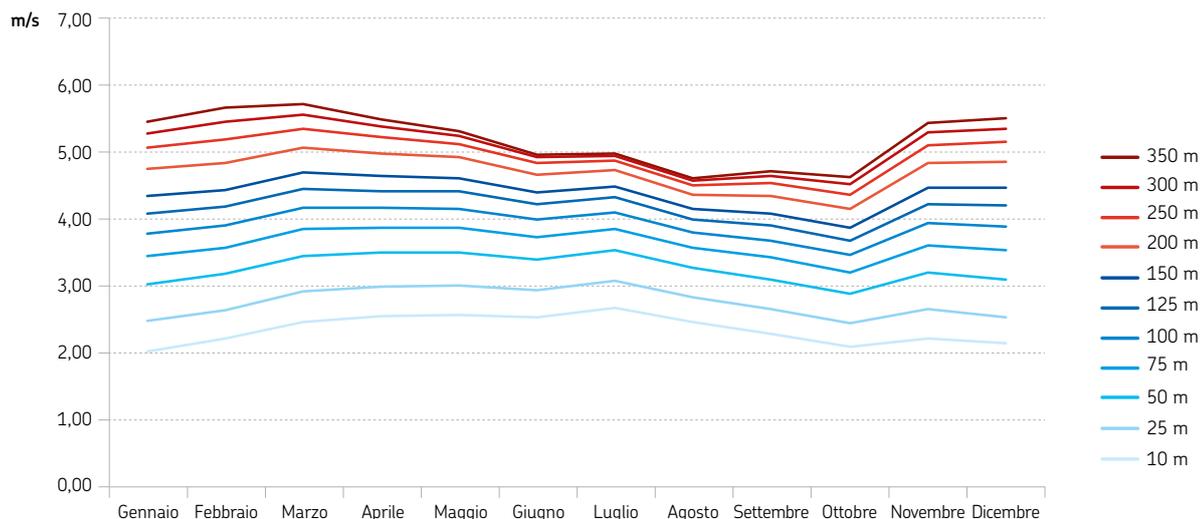


FIGURA 12
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

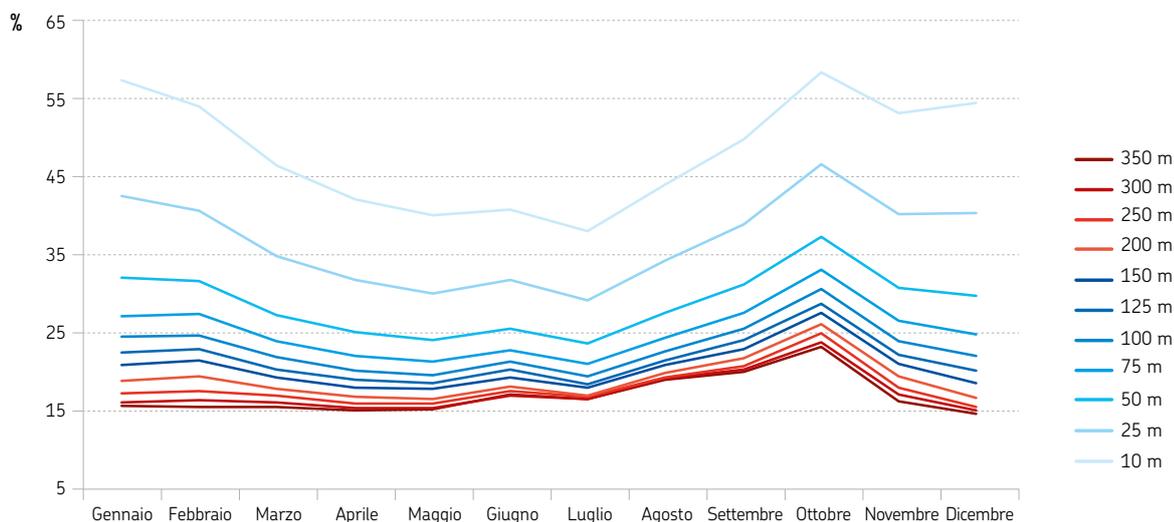
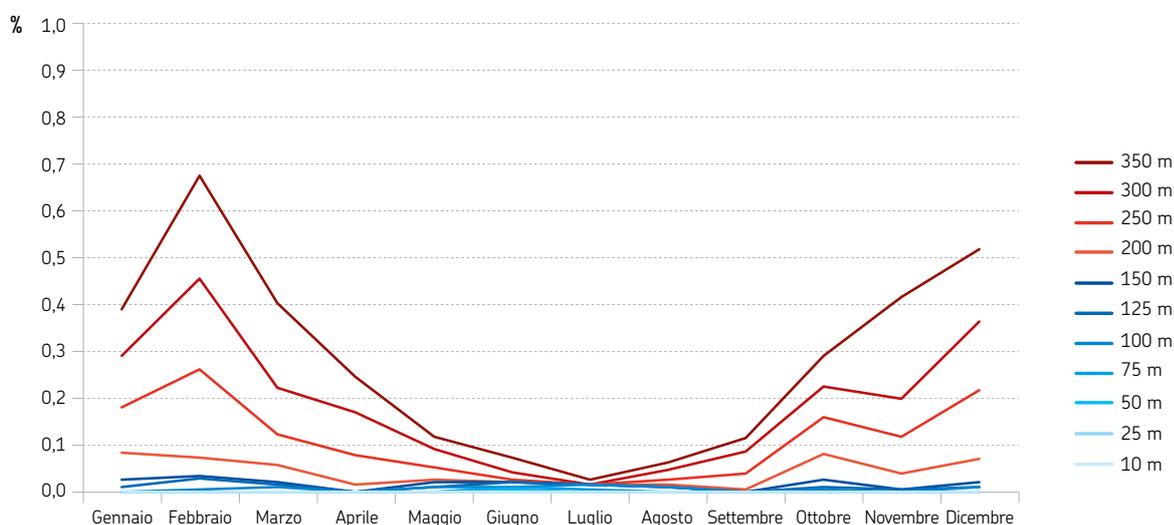


FIGURA 13
Frequenza di venti forti (1995-2020)



Pianura centro-orientale



Nella pianura centro-orientale, come anche in quella occidentale, **l'intensità media scalare del vento cresce progressivamente con la quota**, più velocemente nei primi 75 m, meno velocemente nei successivi 175 m, per poi rimanere quasi costante sopra i 250 m di quota, soprattutto nei mesi estivi. **A 10 m l'intensità media non supera mai i 3 m/s**, un valore leggermente più alto rispetto alla pianura occidentale, mentre a 100 dal suolo i valori mensili oscillano intorno a 4 m/s, con un valore massimo di quasi 4,5 m/s a marzo; il valore di **5 m/s viene superato solo sopra i 200 m dal suolo e solo nei mesi invernali**.

Fino a circa 250 m dal suolo, i mesi meno ventosi sono quelli da ottobre a gennaio; a quote più alte, agosto e ottobre presentano valori di vento medio simili o più bassi di quelli degli altri mesi. Fino a 50 m dal suolo il mese più ventoso è luglio, probabilmente grazie alle brezze termiche della pianura, ma alle quote superiori il mese più ventoso è marzo.

La frequenza delle **calme di vento** in questa porzione della pianura è **massima vicino alla superficie**. Il valore

minimo di luglio, pari al 34% dei valori, è probabilmente dovuto all'influenza delle brezze termiche, ma è lievemente inferiore rispetto alla pianura più interna, forse anche grazie alla maggiore vicinanza del mare; per lo stesso motivo anche i valori massimi di ottobre, di poco inferiori al 50%, rimangono al di sotto di quelli della pianura interna. Questi alti valori di calme di vento al suolo sono sicuramente legati all'altissima frequenza delle inversioni termiche, durante le quali la temperatura dell'aria cresce con la quota, diversamente dal solito; queste condizioni rendono gli strati più bassi dell'atmosfera particolarmente stagnanti. Le calme di vento presentano delle frequenze dimezzate rispetto alla superficie già a 100 m di quota. Al di sopra di questa quota, ottobre rimane il mese con massima frequenza di calme, accompagnato, con valori simili, anche dai mesi di gennaio e febbraio.

La **frequenza di venti forti è praticamente nulla fino a 125 m sopra al suolo**, poi cresce nei mesi tra settembre e maggio, con un **massimo a dicembre** a tutte le quote considerate, valore comunque non superiore allo 0,5% del totale dei valori considerati anche alle quote più alte; i valori minimi si osservano durante l'estate.



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼

Range dei valori - Sempre inferiori a 3 m/s a 10 m, fino a un massimo di 5,9 m/s alle quote più alte



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼

Range dei valori - Tra l'11% dei valori totali in quota e il 49% dei totali in superficie



Max e min bassa quota ▲▼ e alta quota ▲▼

Range dei valori - Sempre inferiore allo 0,13% sotto i 200 m, e fino allo 0,5% dei dati totali alle quote più alte

TORNA ALL'INDICE

OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI

>

CRINALE OCCIDENTALE

CRINALE CENTRALE

CRINALE ORIENTALE

PIANURA OCCIDENTALE

OFF-SHORE

FIGURA 14
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

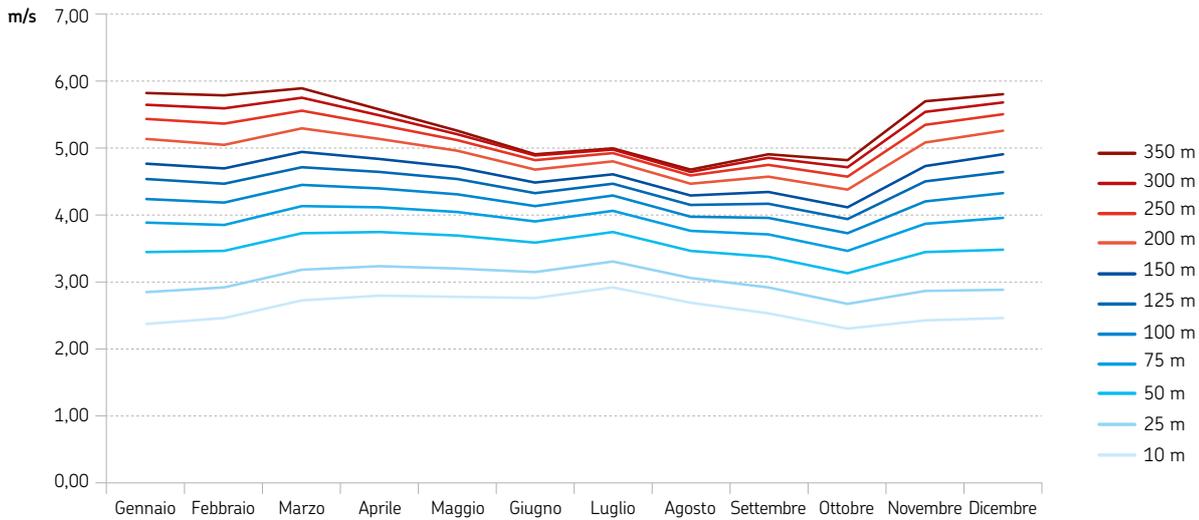


FIGURA 15
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

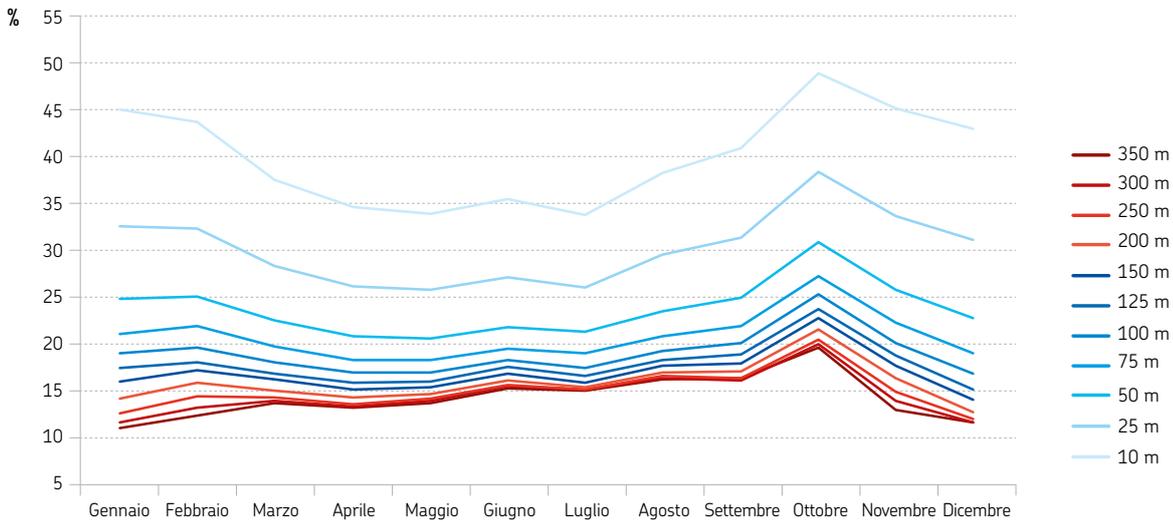
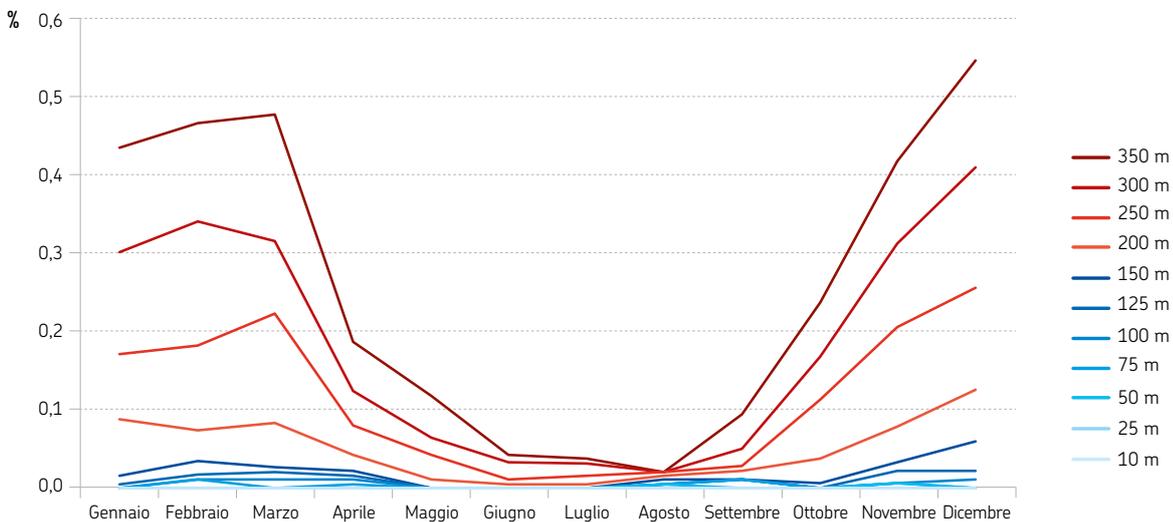


FIGURA 16
Frequenza di venti forti (1995-2020)



Off-shore



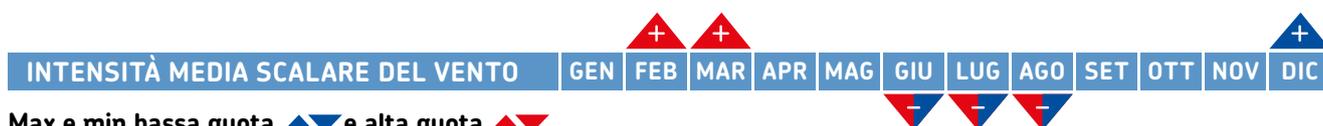
L'intensità media scalare del vento sul mare cresce progressivamente tra la superficie e 100 m di quota, per poi crescere quasi impercettibilmente.

I valori rimangono inferiori a 5 m/s (circa 20 km/h) solo alle quote più basse e nei mesi da maggio ad agosto, per il resto oscillano tra 5 e 8 m/s. I mesi meno ventosi sono quelli estivi e i più ventosi quelli invernali, in particolare febbraio, quando i valori medi sono compresi tra 7 e 8 m/s nelle quote superiori a 50 m dalla superficie del mare.

La frequenza delle calme di vento è bassa a 10 m dalla superficie del mare, con valori massimi in estate quando

le calme di vento rappresentano un quinto dei valori rilevati, mentre è minima nei mesi invernali, quando le calme rappresentano tra un decimo e un ventesimo dei valori rilevati. Sopra i 200 m dal suolo si nota un aumento delle calme nei mesi invernali, un fenomeno forse dovuto alla presenza di onde di instabilità nei mesi caratterizzati da grande ventosità.

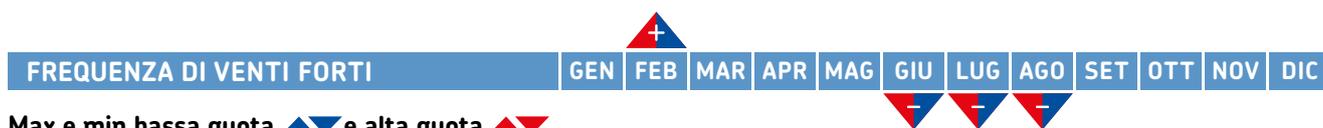
La frequenza di venti forti è bassa, ma non nulla, nei mesi estivi anche negli strati più prossimi alla superficie, e cresce sempre con la quota fino a raggiungere, negli strati più alti, i massimi nel mese di febbraio pari al 3,5% dei valori osservati.



Range dei valori - Sempre superiore a 4 m/s, con massimi fino a 7,8 m/s alle quote superiori



Range dei valori - Tra il 6% e il 21% dei dati totali



Range dei valori - Tra lo 0% e il 3,5% del totale dei dati osservati

TORNA ALL'INDICE
 OPEN DATA
 PUNTI GRIGLIA ANDAMENTI MENSILI
 CRINALE OCCIDENTALE
 CRINALE CENTRALE
 CRINALE ORIENTALE
 PIANURA OCCIDENTALE
 PIANURA CENTRO ORIENTALE

FIGURA 17
Intensità media scalare del vento (1995-2020)

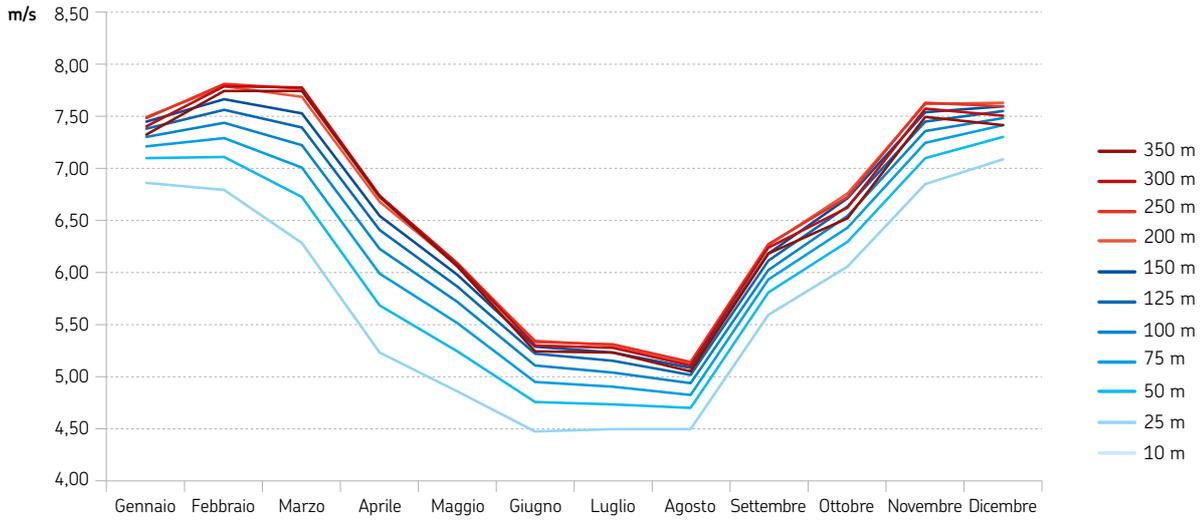


FIGURA 18
Frequenza delle calme di vento (1995-2020)

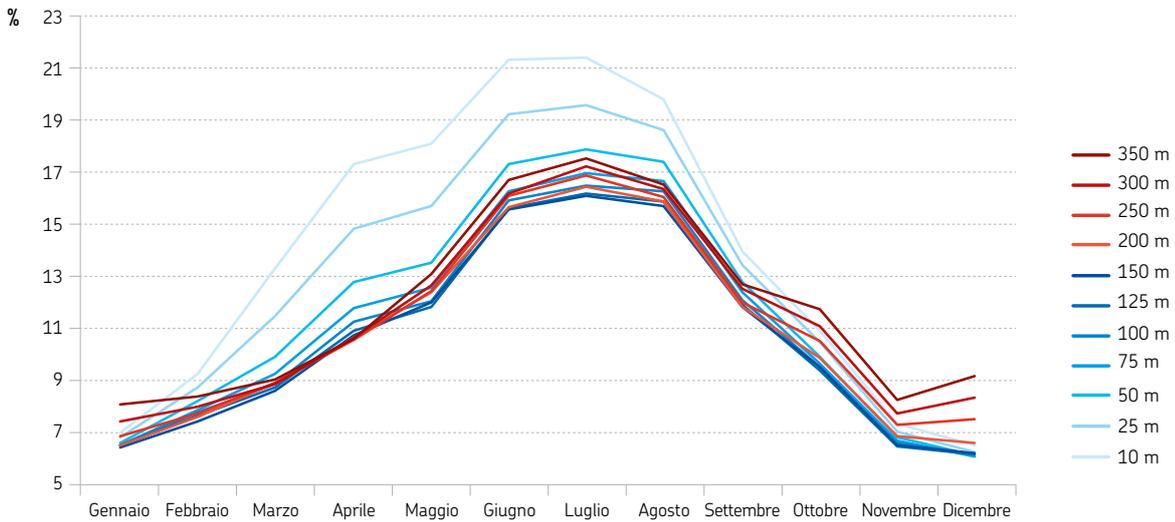
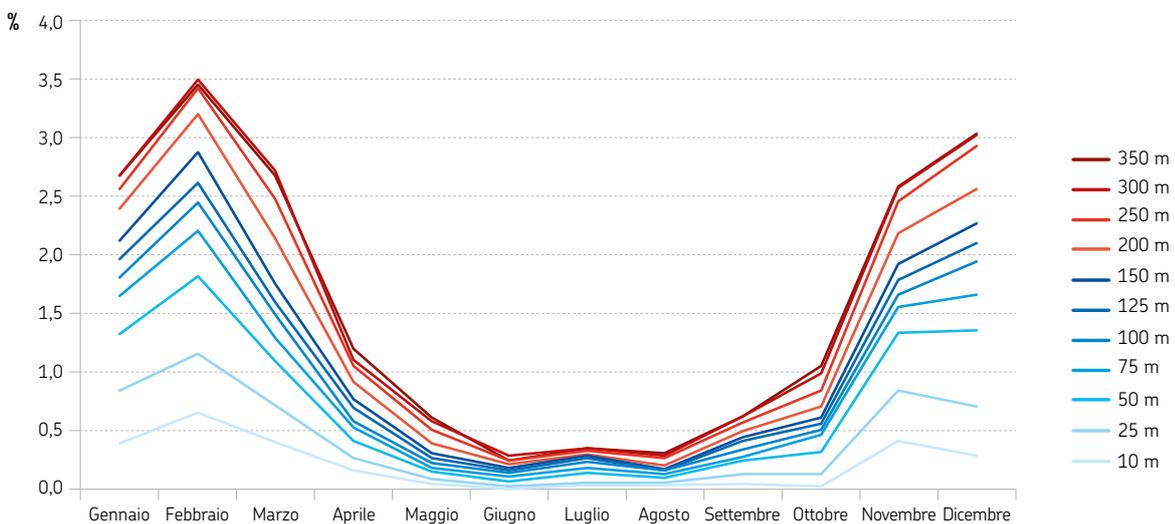


FIGURA 19
Frequenza di venti forti (1995-2020)



2

Rose dei venti



In questa sezione, per ogni sito sono presentate le rose dei venti; al loro interno sono riportate **le frequenze di eventi per le diverse intensità di vento (colori dall'azzurro al rosso scuro)** riportate in didascalia, **con provenienza dalle otto diverse direzioni, per quattro mesi**, rappresentativi delle quattro stagioni, **e per cinque livelli**, rappresentativi degli 11 livelli totali considerati: **10 m, 50 m, 100 m, 200 m, 300 m**. Le frequenze sono riportate come percentuali di eventi per ogni classe rispetto al numero di eventi totali e sono calcolate a partire dai dati orari di vento in termini di intensità e direzione.

Solo le frequenze dei venti superiori a 2 m/s sono inserite nei grafici, poichè i venti con intensità inferiore a questa soglia sono considerati deboli e non categorizzabili per direzione.

Le 8 direzioni principali corrispondono ai venti che in Italia prendono tradizionalmente i seguenti nomi:

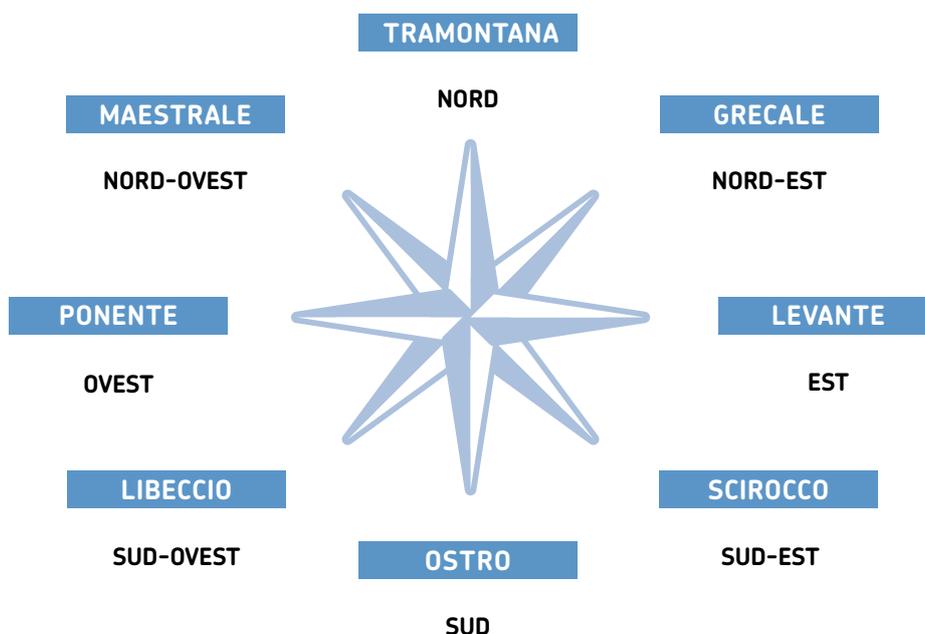
- TRAMONTANA - da nord;
- GRECALE - da nord-est;
- LEVANTE - da est;
- SCIROCCO - da sud-est;
- OSTRO - da sud;
- LIBECCIO - da sud-ovest;
- PONENTE - da ovest;
- MAESTRALE - da nord-ovest.

A questi venti, si sommano alcuni venti intensi, legati a condizioni dinamiche particolari, che possono essere osservati solo in alcune parti della regione. Un vento particolarmente importante nella regione Emilia-Romagna, per i suoi effetti lungo la costa e sulla temperatura in pianura, è la **Bora**, un vento freddo di provenienza nord-est/est-nord-est, che soffia con particolare intensità specialmente sull'alto e medio Adriatico. In Emilia-Romagna la Bora, oltre a distinguersi per la provenienza e le anomalie termiche da essa generate, presenta intensità generalmente superiori agli altri venti.

Nelle valli centro-orientali dell'Appennino è inoltre abbastanza frequente il **Garbino**, il foehn appenninico, un vento caldo da sud/sud-est, legato alla presenza di precipitazioni sul versante meridionale della catena montuosa.

Infine sono presenti le brezze, particolarmente importanti nelle aree prospicienti alla costa, nelle valli appenniniche e in pianura nel periodo estivo.

Le **brezze marine**, che interessano le aree più vicine alla costa, sono dovute alla differenza termica tra il mare e la terra ferma; le **brezze vallive** sono invece spesso alimentate da venti catabatici dovuti al rapido raffreddamento notturno dell'aria superficiale in quota, o da correnti termiche legate al movimento verso l'alto degli strati d'aria superficiali riscaldati più efficacemente dal suolo; le **brezze termiche**, presenti anche in pianura nei mesi estivi, sono similmente legate al rimescolamento di strati superficiali di aria particolarmente caldi rispetto agli strati superiori.



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA



PUNTI GRIGLIA

Crinale occidentale

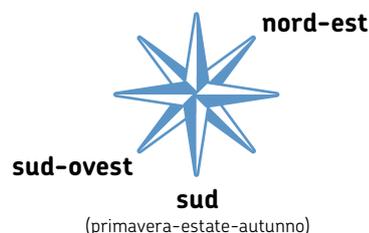


Nel sito rappresentativo del crinale occidentale, nell'Alta Val di Taro (*figura 20*), **le due direzioni più frequenti sono da sud-ovest e da nord-est**. I venti da sud sono comunque presenti a tutte le quote e presentano frequenze simili a quelle dei venti da sud-ovest per gli strati più alti, sopra i 100 m, in quasi tutte le stagioni tranne in inverno.

Nonostante l'intensità del vento aumenti con la distanza dal suolo, la frequenza di venti da nord è piuttosto bassa a tutte le altezze; tuttavia quando questi eventi si verificano presentano una alta probabilità di forte intensità. Frequenze significative di venti superiori a 17,2 m/s, corrispondenti a circa 62 km/h, sono presenti solo per i venti con direzione da nord, Tramontana, da sud, Ostro, da nord-est, Grecale, e da sud-ovest, Libeccio, per quote superiori a 200 m dalla superficie.

I venti intensi di Tramontana sono presenti, con frequenze significative, solo in questo sito e nel sito Off-shore.

DIREZIONI PREVALENTI DEI VENTI



VENTI PIÙ INTENSI



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ROSE DEI VENTI



CRINALE CENTRALE



CRINALE ORIENTALE



PIANURA OCCIDENTALE

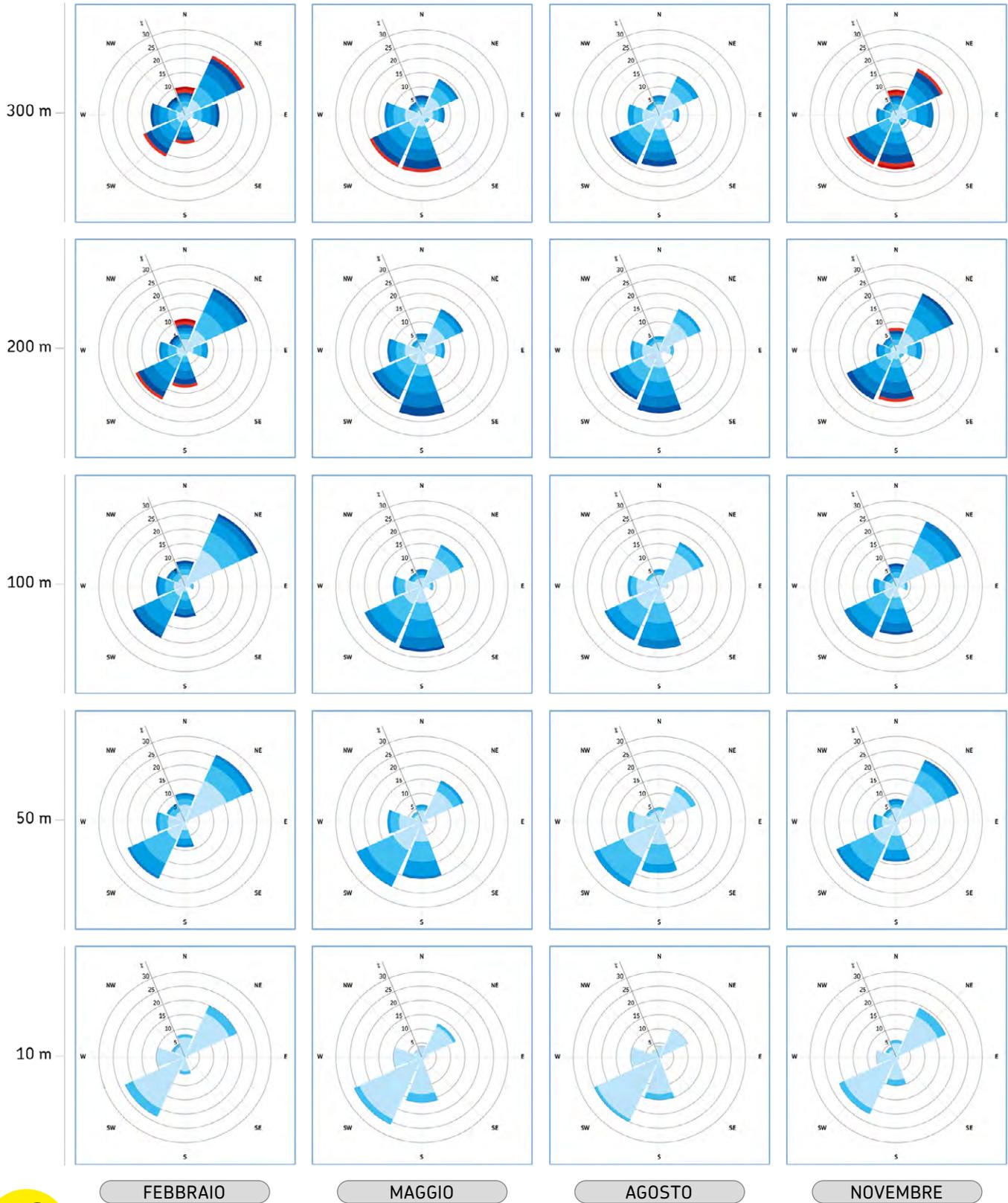


PIANURA CENTRO ORIENTALE



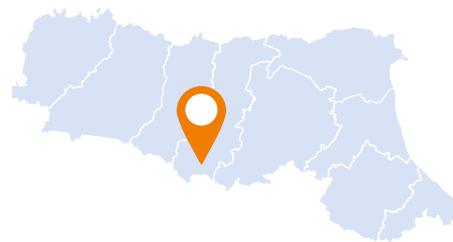
OFF-SHORE

FIGURA 20
Rose dei venti per il punto di crinale occidentale



**VISUALIZZA
 LE ROSE
 DEI VENTI
 ALLE VARIE
 ALTITUDINI**

Crinale centrale



Nel sito rappresentativo del crinale centrale in corrispondenza del Monte Cimone, in [figura 21](#), i risultati sono simili a quelli presentati per il punto sul crinale occidentale, anche se il sito presenta una quota di superficie più alta rispetto al livello del mare, la più alta in regione, e quindi è meno influenzato dai rilievi circostanti. In questo sito, **prevalgono a tutte le quote e in tutte le stagioni i venti da sud-ovest**, ad eccezione dell'inverno, **per altezze superiori a 200 m dal suolo, quando prevalgono venti da nord est**.

In generale, i venti con intensità superiore a 17,2 m/s più frequenti sono i venti da sud-ovest, Libeccio, e da nord est, Grecale, e in autunno, inverno e primavera si può notare anche una frequenza significativa di venti intensi da sud, Ostro, per quote superiori a 50 m. Nei mesi autunnali sono anche presenti venti intensi da ovest, Levante, e nei mesi invernali venti da nord-ovest, Maestrale, per altezze superiori a 100 m.



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ROSE DEI VENTI



CRINALE OCCIDENTALE



CRINALE ORIENTALE



PIANURA OCCIDENTALE

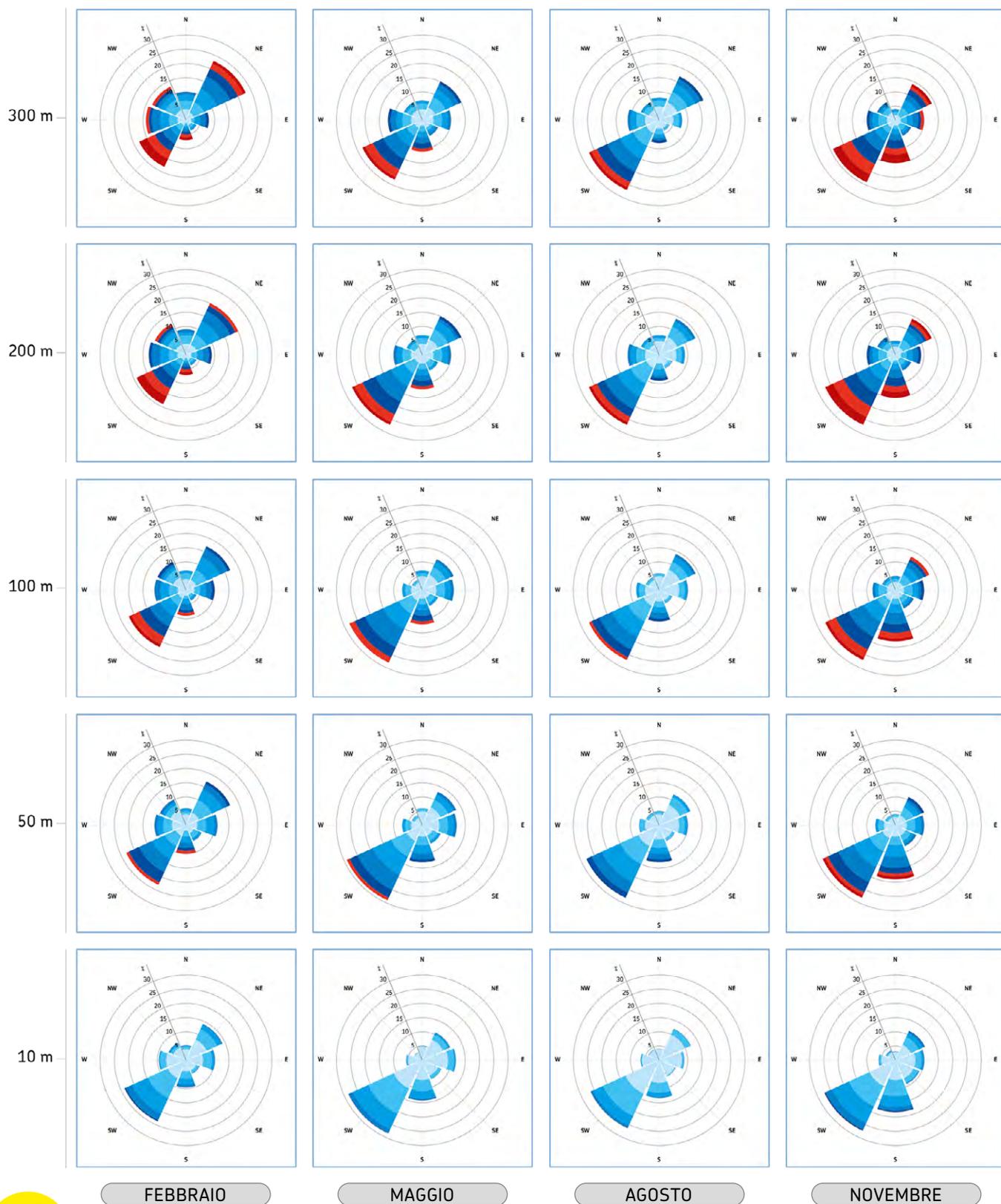


PIANURA CENTRO ORIENTALE



OFF-SHORE

FIGURA 21
 Rose dei venti per il punto di crinale centrale



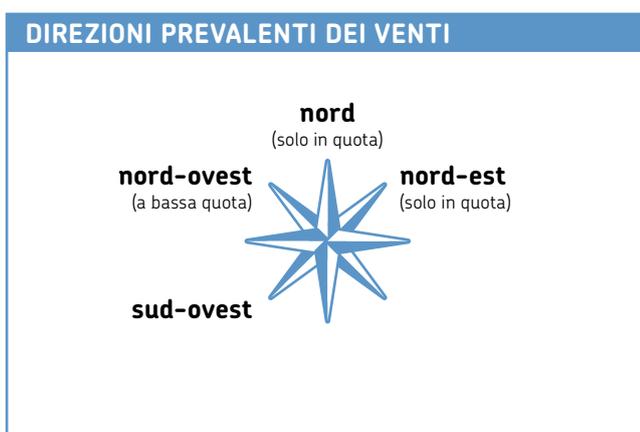
**VISUALIZZA
 LE ROSE
 DEI VENTI
 ALLE VARIE
 ALTITUDINI**

Crinale orientale



Nel sito rappresentativo del crinale romagnolo, nella provincia di Forlì-Cesena, in [figura 22](#), in tutte le stagioni e **per le altezze dal suolo inferiori a 100 m i venti più frequenti sono quelli da nord-ovest**, mentre **per altitudini superiori**, i venti più frequenti sono quelli **da nord**; entrambe queste classi di direzione, però, presentano a tutte le altezze dal suolo una distribuzione di intensità con

frequenze non significative per le classi di vento più intense. I venti più intensi si osservano in questo sito nelle direzioni da sud-ovest e, nel caso dei mesi autunnali, da sud. I primi sono connessi al verificarsi di fenomeni di Garbino, il foehn romagnolo, meno frequenti in estate rispetto alle altre stagioni. Alle quote più alte e in autunno si nota anche la presenza di venti di Bora da nord-est.



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ROSE DEI VENTI



CRINALE OCCIDENTALE

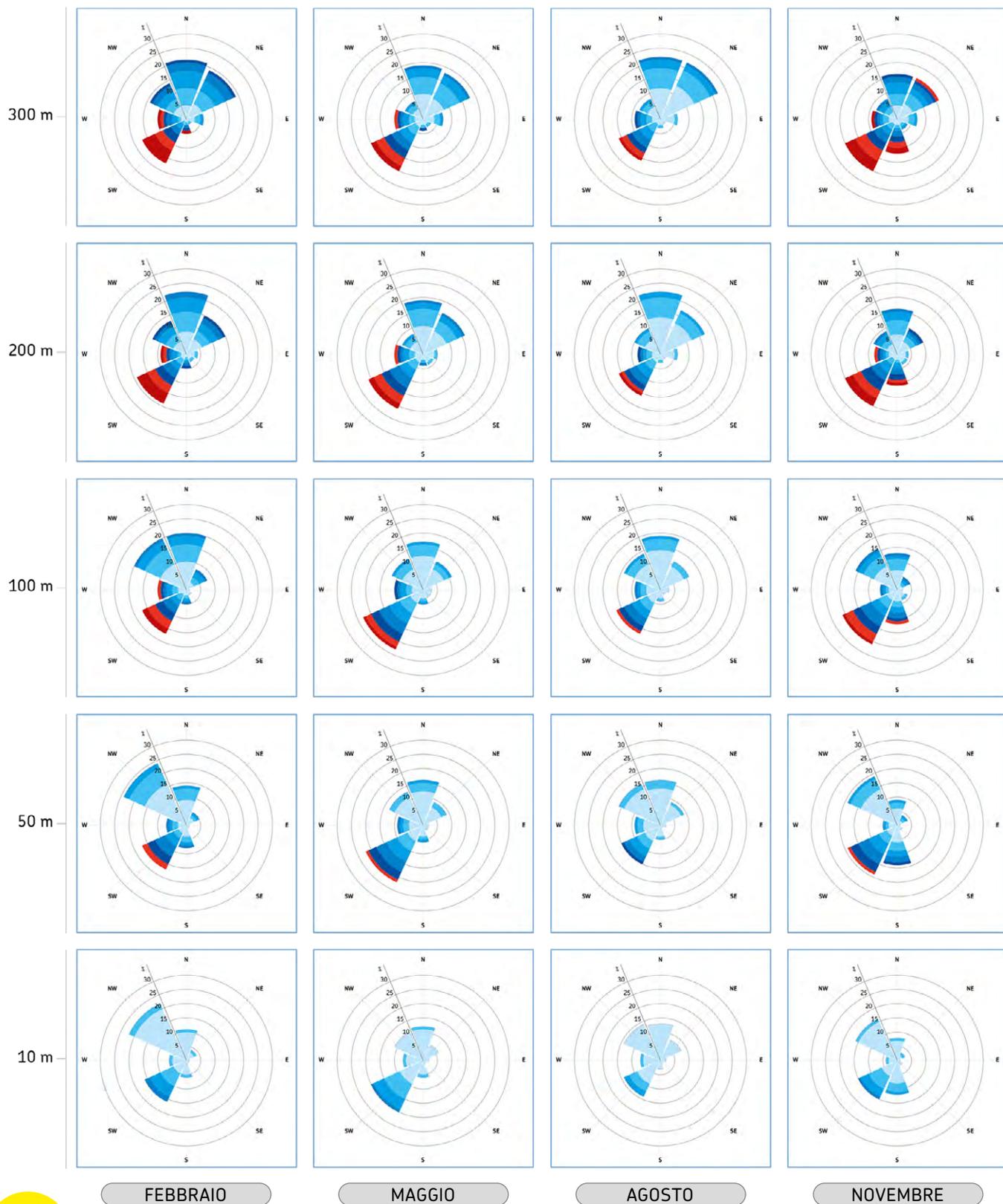
CRINALE CENTRALE

PIANURA OCCIDENTALE

PIANURA CENTRO ORIENTALE

OFF-SHORE

FIGURA 22
 Rose dei venti per il punto di crinale orientale



FEBBRAIO

MAGGIO

AGOSTO

NOVEMBRE



**VISUALIZZA
 LE ROSE
 DEI VENTI
 ALLE VARIE
 ALTITUDINI**

Pianura occidentale



Nel sito rappresentativo della pianura occidentale (*figura 23*), le rose dei venti presentano **valori di frequenza massima a tutte le altezze dal suolo e per tutte le stagioni per le direzioni da est e da ovest**, lungo l'asse della Pianura Padana, con una netta prevalenza relativa di venti da ovest, soprattutto per le quote inferiori

ai 200 m. Per nessuna direzione la distribuzione delle intensità si estende significativamente oltre i 10,8 m/s, corrispondenti a 40 km/h. Le direzioni da nord e da sud sono praticamente assenti in tutte le stagioni, mentre quella da sud-ovest è assente nei mesi autunnali e invernali.



TORNA
ALL'INDICE



OPEN
DATA

PUNTI
GRIGLIA
ROSE DEI
VENTI



CRINALE
OCCIDENTALE



CRINALE
CENTRALE



CRINALE
ORIENTALE

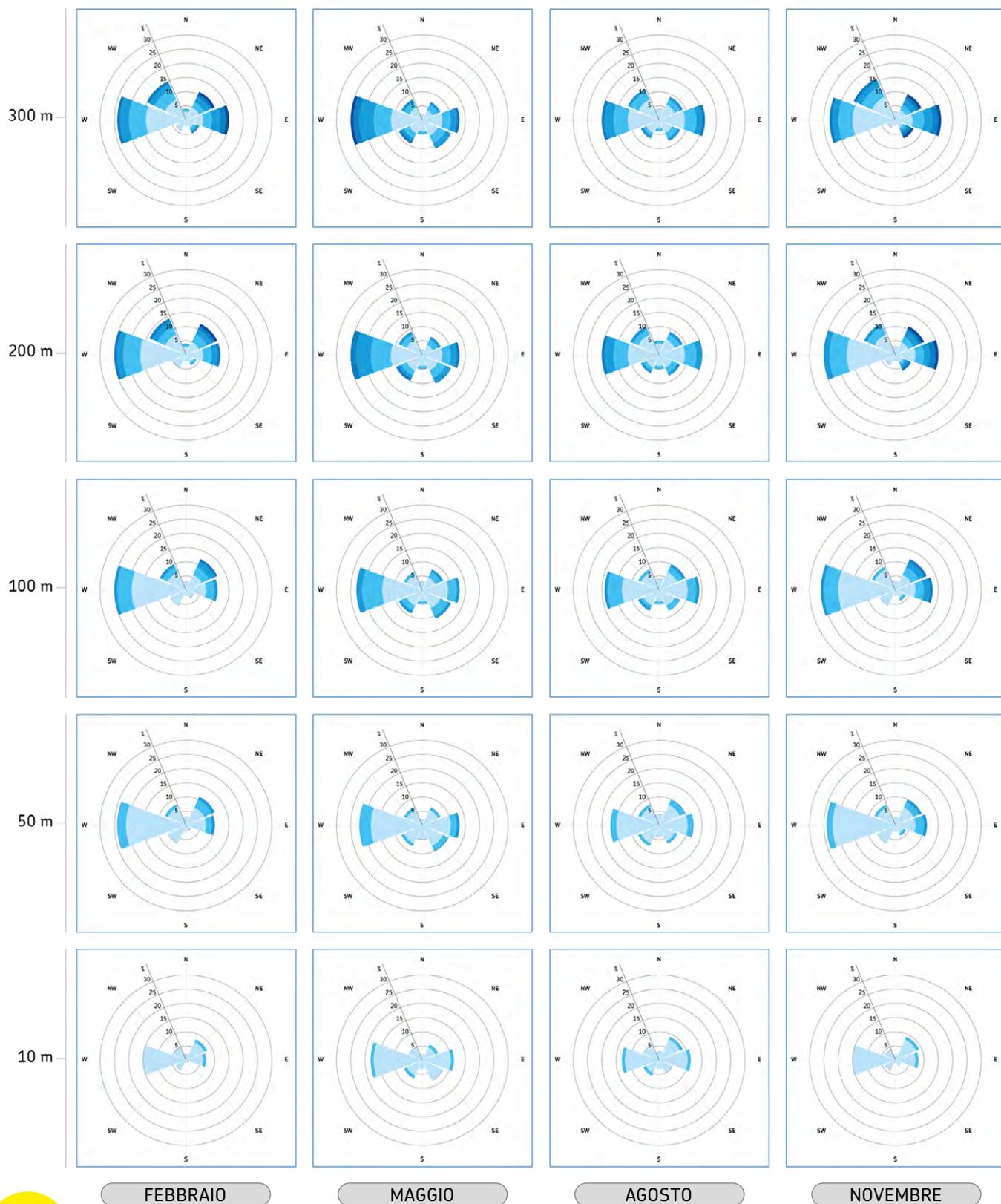


PIANURA CENTRO
ORIENTALE



OFF-SHORE

FIGURA 23
Rose dei venti per il punto di pianura occidentale



**VISUALIZZA
 LE ROSE
 DEI VENTI
 ALLE VARIE
 ALTITUDINI**

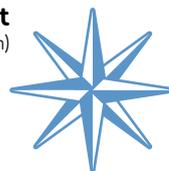
Pianura centro-orientale



Nel sito rappresentativo della pianura centro-orientale, in [figura 24](#), la distribuzione delle intensità nelle varie direzioni **si presenta una distribuzione** più varia rispetto al sito di pianura occidentale, anche se qui prevalgono **per tutte le stagioni e tutte le altezze dal suolo i venti da ovest**, che non sono necessariamente i più intensi. Alle quote superiori a 100 m i venti da nord-est e nord-ovest presentano frequenze più alte per classi di intensità di venti mediamente intensi. In estate e primavera la distribuzione dei venti è più uniforme e influenzata dalle brezze termiche, fatta eccezione per le direzioni da nord e da sud, presenti con frequenze molto basse. Un'altra peculiarità del sito è che l'intensità dei venti da nord-ovest cresce più velocemente rispetto alle altre direzioni, con basse frequenze significative solo per venti deboli in prossimità del suolo e distribuzione di frequenze con intensità confrontabili a venti da ovest per le altezze maggiori. Infine, in autunno e inverno si nota la presenza di una significativa frequenza di eventi con venti relativamente intensi da nord-est, detti Grecale. Anche in questa parte della regione la frequenza di venti intensi superiori a 17,2 m/s è trascurabile.

DIREZIONI PREVALENTI DEI VENTI

nord-ovest
(sopra i 100 m)



nord-est
(sopra i 100 m)

spicca la scarsità di venti da nord e da sud

VENTI PIÙ INTENSI



assenti



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ROSE DEI VENTI



CRINALE OCCIDENTALE

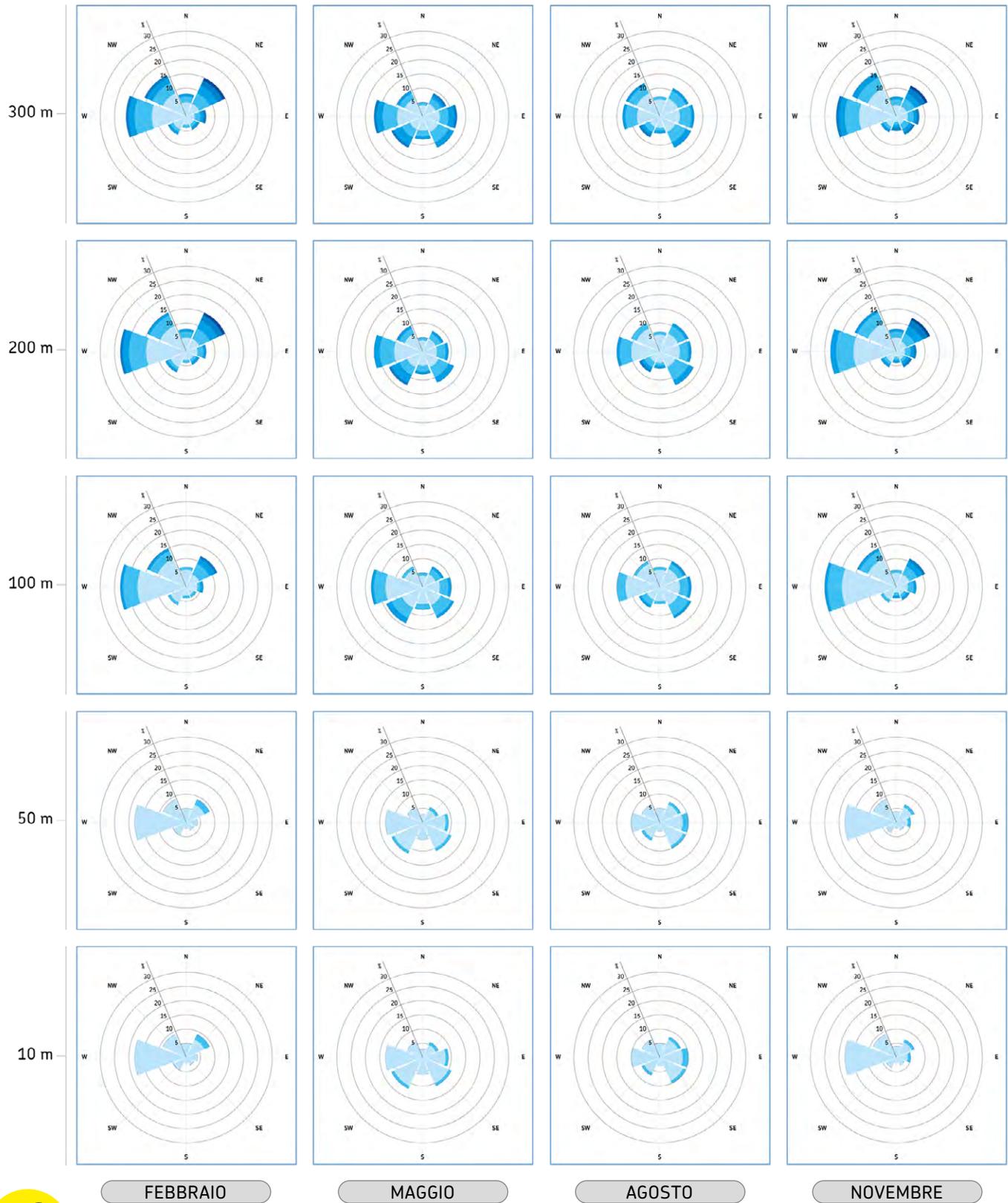
CRINALE CENTRALE

CRINALE ORIENTALE

PIANURA OCCIDENTALE

OFF-SHORE

 **FIGURA 24** Rose dei venti per il punto di pianura centro-orientale



**VISUALIZZA
LE ROSE
DEI VENTI
ALLE VARIE
ALTITUDINI**

Off-shore



Per quanto riguarda il sito Off-shore (*figura 25*), emerge **una netta prevalenza degli eventi intensi da nord-est dovuti a eventi di Bora nei mesi autunnali e invernali**, meno presenti nelle altre due stagioni. Per le altre direzioni la distribuzione è abbastanza omogenea nei mesi

primaverili ed estivi, mentre nei mesi autunnali e invernali sono presenti frequentemente venti da nord-ovest, ma con basse intensità, e sono abbastanza probabili venti da est, Levante, sud-est, Scirocco, e sud, Ostro, che alle quote più alte presentano spesso intensità alte.



TORNA ALL'INDICE



OPEN DATA

PUNTI GRIGLIA ROSE DEI VENTI



CRINALE OCCIDENTALE

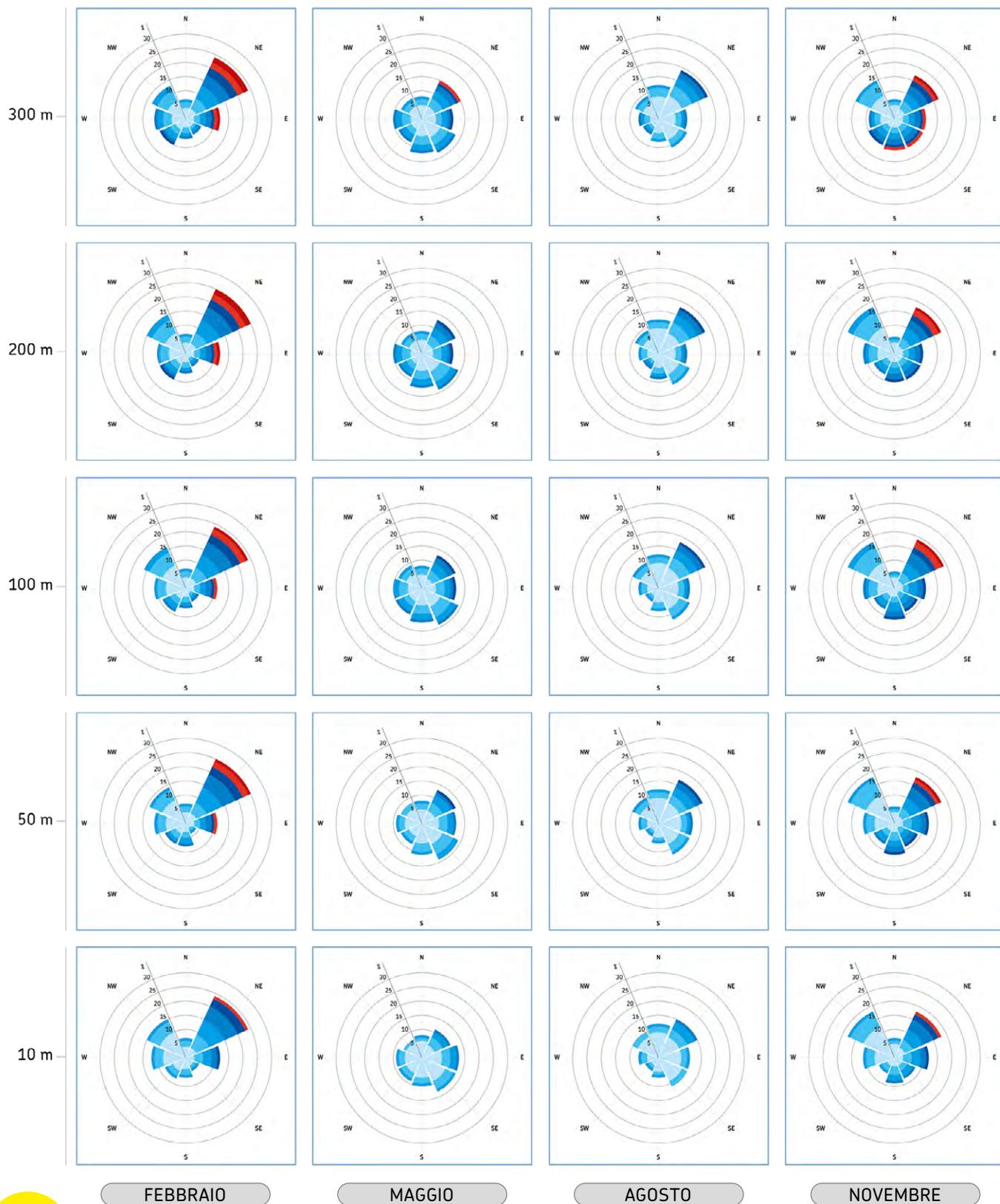
CRINALE CENTRALE

CRINALE ORIENTALE

PIANURA OCCIDENTALE

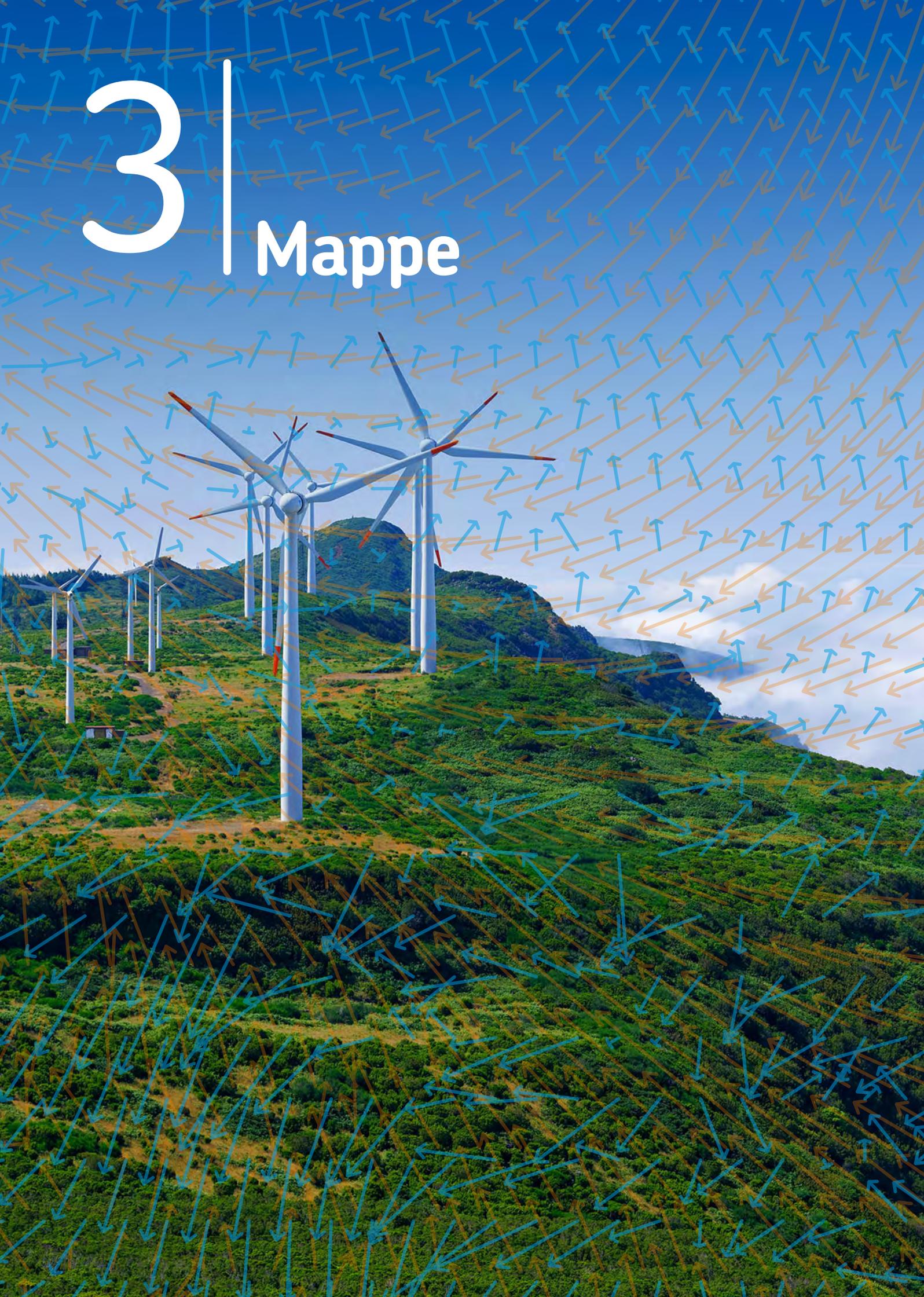
PIANURA CENTRO ORIENTALE

FIGURA 25
Rose dei venti per il punto Off-shore



**VISUALIZZA
LE ROSE
DEI VENTI
ALLE VARIE
ALTITUDINI**

3 | Mappa



Mappe dell'intensità del vento

Le mappe in [figura 26](#) presentano le medie mensili scalari e vettoriali del vento per i mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre, esemplificative della variazione geografica dei valori del vento in un sottoinsieme dei livelli considerati (10 m, 50 m, 100 m, 200 m e 300 m). Da queste mappe si nota che **i valori più alti di intensità media scalare del vento si osservano sui crinali**. In pianura invece i venti sono mediamente deboli, con valori di intensità più alti nelle aree orientali, più vicino alla costa.

Sui rilievi inoltre, il vento presenta un'intensa variabilità spaziale con valori che possono cambiare localmente dai valori massimi regionali, a valori simili a quelli osservati in

pianura, in zone appenniniche particolarmente riparate. L'intensità e la direzione del vento medio vettoriale cambiano a seconda della stagione. In particolare, in estate i venti presentano intensità medie significative solo sui rilievi e localmente sulle pianure occidentali, con direzioni medie da sud-ovest e intensità maggiori sui rilievi parmensi e leggermente inferiori in ampie aree dei rilievi romagnoli.

In inverno, i venti sono orientati da sud e sud-ovest sui rilievi occidentali e da sud, sud-est sui rilievi romagnoli, da est e sud-est in pianura. Le intensità medie scalari presentano, in questa stagione, minimi lungo le valli centrali della regione.



TORNA
ALL'INDICE

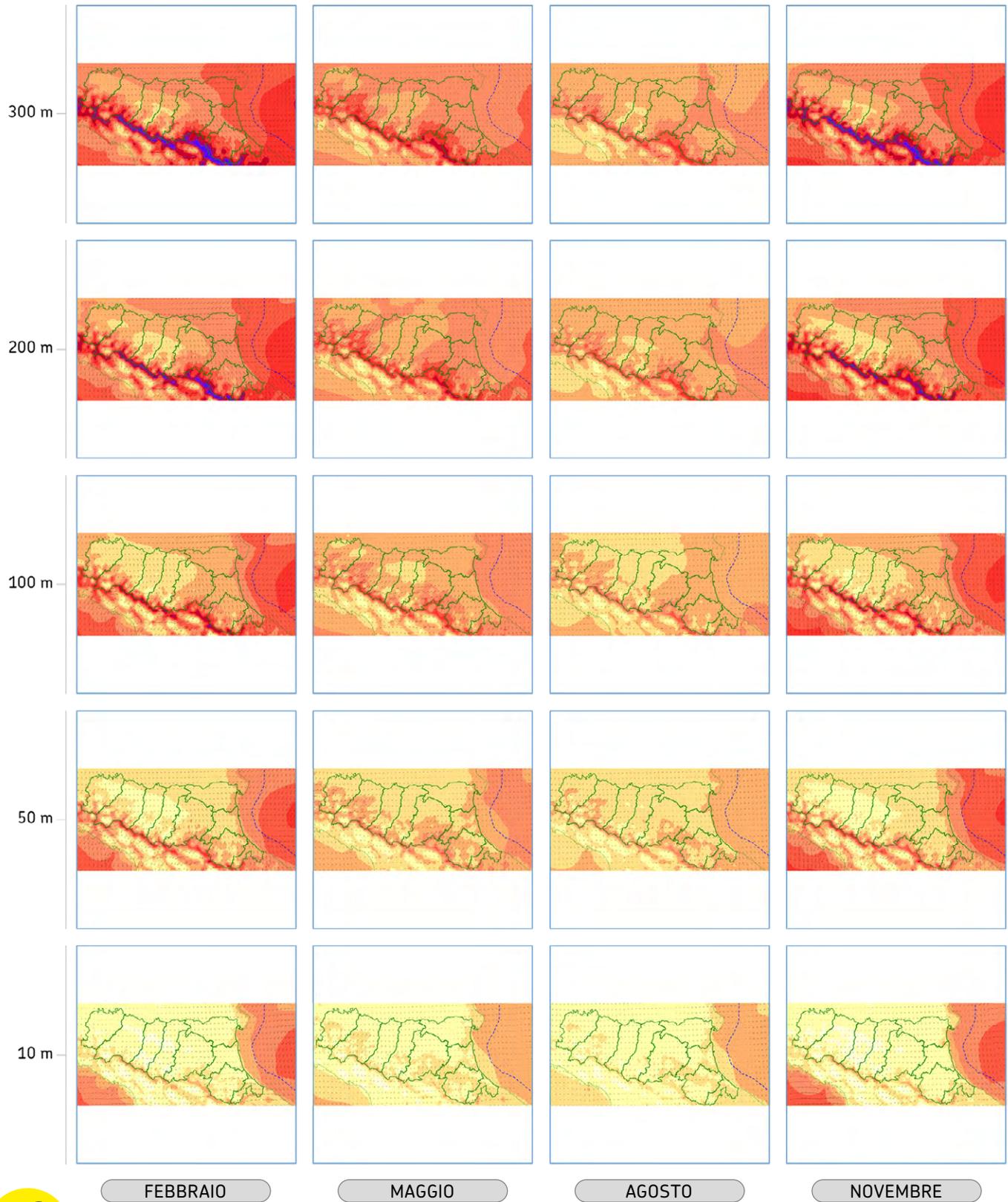


OPEN
DATA



PUNTI
GRIGLIA

 **FIGURA 26** Mappe della media scalare e vettoriale del vento per i mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre (1995-2020)



**VISUALIZZA
LE MAPPE
ALLE VARIE
ALTITUDINI**

Mappe della frequenza delle calme

Dalle mappe che riportano i valori dell'indice di frequenza delle calme (*figura 27*) su tutto il territorio considerato per una selezione di mesi (febbraio, maggio, agosto e novembre) e di quote (10, 50, 100, 150, 200, 300) si nota che in Emilia-Romagna **le calme di vento sono molto frequenti negli strati più bassi dell'atmosfera in pianura e lungo i fondovalle appenninici**. In queste aree i valori dell'indice sono più alti nei mesi invernali e autunnali, quando è più alta la frequenza climatologica del verificarsi di inversioni termiche, vale a dire che la temperatura dell'aria cresce con la quota a differenza di quanto succede normalmente; queste condizioni rendono gli strati bassi dell'atmosfera particolarmente stagnanti, soprattutto nelle aree centro-occidentali.

A partire dai 100 m dalla superficie, le frequenze di calme di vento presentano una stagionalità meno pronunciata e diventano più rare a eccezione delle aree appenniniche particolarmente riparate, come i fondovalle.

Situazione completamente diversa si nota lungo la costa e in mare aperto, dove il verificarsi delle inversioni è meno frequente e la stagionalità dell'indice si presenta invertita, con valori più bassi in autunno-inverno e più alti in primavera-estate, seguendo l'andamento stagionale dell'intensità del vento medio negli strati superiori dell'atmosfera, in aria libera.



TORNA
ALL'INDICE

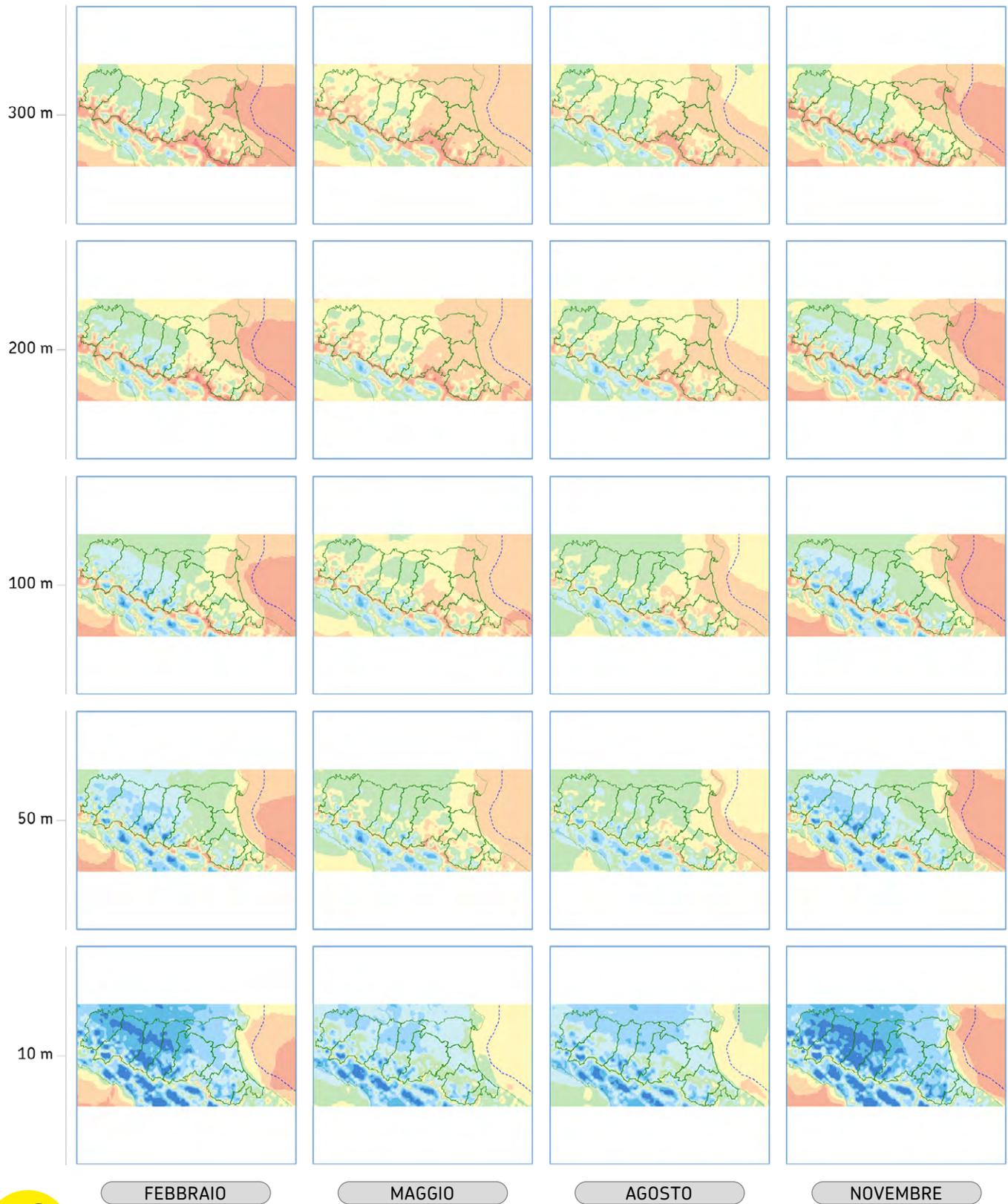


OPEN
DATA



PUNTI
GRIGLIA

 **FIGURA 27** Mappe della frequenza delle calme di vento per i mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre (1995-2020)



**VISUALIZZA
LE MAPPE
ALLE VARIE
ALTITUDINI**

Mappe della frequenza dei venti forti

Dalle mappe che riportano i valori dell'indice di frequenza climatica mensile di venti forti (*figura 28*) su tutto il territorio considerato per una selezione di mesi (febbraio, maggio, agosto e novembre) e di quote (10, 50, 100, 150, 200, 300) si nota che **il verificarsi di un numero significativo di eventi di vento intenso sotto i 50 m è strettamente legato alla prossimità dalla costa o alla presenza di orografia.**

A quote più alte, i venti intensi, che presentano valori

massimi sulla superficie del mare e sui crinali, sono presenti, seppur rari, anche altrove, sempre con valori più bassi in estate e tarda primavera rispetto al tardo autunno e all'inverno.

I venti forti sono legati principalmente al verificarsi di eventi di Bora, da nord-est, per le aree più orientali e Off-shore, da eventi di Libeccio, Ostro e Grecale sui rilievi appenninici centro-occidentali, da eventi di Garbino nelle valli dell'Appennino romagnolo.



TORNA
ALL'INDICE

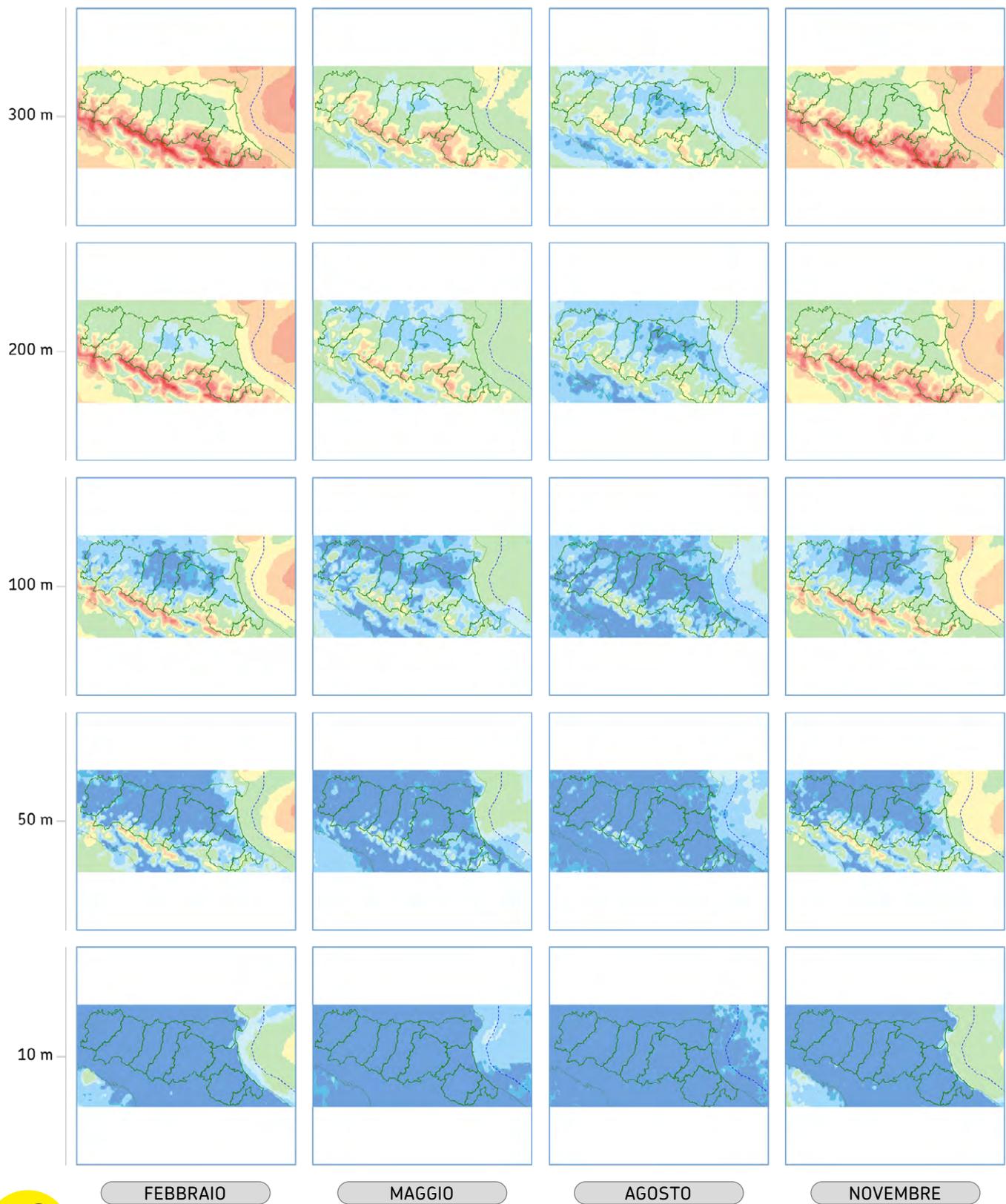


OPEN
DATA



PUNTI
GRIGLIA

 **FIGURA 28** Mappe della frequenza di venti forti per i mesi di febbraio, maggio, agosto e novembre (1995-2020)



**VISUALIZZA
LE MAPPE
ALLE VARIE
ALTITUDINI**

4

Andamenti annui



Nella **figura 29** sono presentate le serie di intensità media scalare del vento annua nei sei punti di griglia rappresentativi delle diverse aree climatiche anemometriche della regione, dal 1995 al 2020.

Dal grafico si nota che **le serie non variano in modo sincronizzato, e questo è dovuto al fatto che la variabilità del vento nelle diverse aree della regione è legata al verificarsi di diversi regimi meteorologici fra loro indipendenti.**

Le serie annue sul crinale occidentale e sul crinale orientale presentano valori superiori rispetto a quelli di pianura, tra 2,8 e 3,7 m/s, con variabilità più pronunciata nel caso del punto di griglia orientale. La correlazione tra le due serie è piuttosto bassa e pari a 0,15, a conferma che la variabilità del vento sull'Appennino romagnolo è legata a regimi meteorologici diversi da quelli che influenzano la ventosità sull'Appennino emiliano occidentale.

La serie annua in corrispondenza del **crinale centrale** presenta valori più alti rispetto a tutte le serie finora considerate, tra 4,2 e 5,2 m/s, e **una correlazione significativa con la serie del crinale occidentale** pari a 0,52. Questo conferma che i regimi di vento sull'Appennino centro-occidentale sono tutti legati agli stessi regimi meteorologici.

La serie annua in corrispondenza del punto **Off-shore** presenta i valori di vento più alti, tra 5 e 6 m/s, e una ampiezza di variabilità simile a quella osservata sui crinali centro-occidentali. La serie è **più correlata a quella rappresentativa del crinale orientale**, con un valore di correlazione pari a 0,37, mentre con le altre serie montane presenta valori di correlazione più bassi.

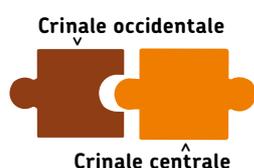
Infine le serie di valori di vento scalare medio annuo presso il punto di **pianura occidentale** e quello della **pianura centro-orientale sono identiche** e presentano valori tra 2,4 e 2,8 m/s e la variabilità è inferiore a tutte le altre serie. L'andamento temporale in queste aree presenta una correlazione significativa con quello del crinale orientale, con un valore di 0,28, e del punto Off-shore, con un valore di 0,40, mentre ha correlazione nulla con la serie temporale del crinale centrale e leggermente negativa con quella del crinale occidentale, con valore pari a -0,15.

VARIABILITÀ TEMPORALE DELLE SERIE DI VENTI

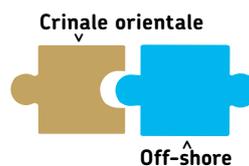


Cambia a seconda dell'area considerata

CORRELAZIONI TRA LE SERIE DI VENTI



Le variabilità sul crinale occidentale e centrale sono **abbastanza correlate**.



La variabilità del crinale orientale è **parzialmente correlata** con quella del punto Off-shore.



Le variabilità nei due punti di pianura sono infine **molto correlate** tra loro, e presentano correlazioni significative con il vento nel punto Off-shore e con l'Appennino orientale, e una anti-correlazione non significativa con i punti di crinale centrale e occidentale.



TORNA ALL'INDICE

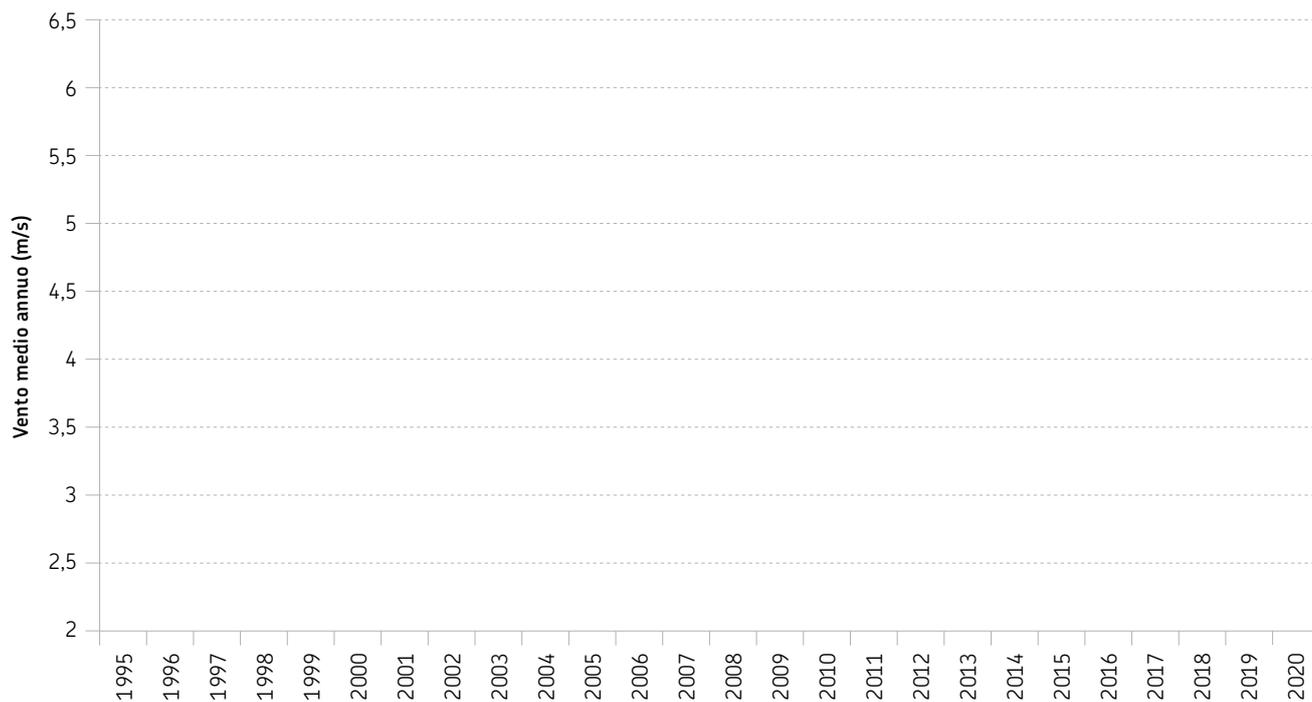


OPEN DATA



FIGURA 29

Serie di intensità media scalare annua (m/s) sui 6 punti rappresentativi regionali



Legenda



B.
SELEZIONA
I PUNTI
SULLA MAPPA

* Le serie di valori di vento scalare medio annuo presso il punto di pianura occidentale e quello della pianura centro-orientale sono identiche



TORNA
ALL'INDICE



OPEN
DATA

5

Open data Arpae



Elenco dei dati disponibili e loro formato

In combinazione con questa pubblicazione è stata creata una risorsa all'interno del portale **OpenData Arpae**, dedicata alla disseminazione dei dati climatici sopra descritti. Tutti i dati inclusi all'interno di questa risorsa coprono l'intero territorio dell'Emilia-Romagna e una porzione del mare Adriatico prospiciente alla costa regionale, utilizzando una griglia regolare latitudine-longitudine con un passo di circa 2,1 km, descritta all'interno della documentazione OpenData.

Il dataset include:

- le **serie temporali** delle medie mensili dell'intensità scalare del vento a 10 m dalla superficie, per il periodo da gennaio 1995 a dicembre 2020;
- i **valori di punto di griglia di alcuni indici** ottenuti a partire dai dati di vento ai seguenti livelli: 10 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m.

Gli indici sono stati calcolati per ciascun mese, mediati sugli anni dal 1995 al 2020. Ogni file include i valori dell'indice per il punto di griglia scelto per tutti i mesi e tutte le quote. Gli **indici disponibili** includono:

- il **valore medio climatico mensile della componente zonale (u) e meridionale (v) del vento vettoriale**;
- il **valore medio climatico mensile del vento scalare**;
- la **frequenza delle calme di vento**, definita come il numero di valori di intensità scalare inferiore a 2,0 m/s diviso il numero totale di dati disponibili;
- la **frequenza di venti intensi**, definita come il numero di valori di intensità scalare superiore a 20,0 m/s, che rappresenta l'intensità di cut off delle pale eoliche, diviso il numero totale di dati disponibili;
- le **rose dei venti per punto di griglia**, con i dati di frequenza divisi in file a seconda delle 8 classi di direzione in base alla provenienza (nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ovest, ovest, nord-ovest) e alle 7 classi di intensità (da 2,0 a 5,5 m/s; da 5,5 a 8,0 m/s; da 8,0 a 10,8 m/s; da 10,8 a 13,9 m/s; da 13,9 a 17,2 m/s; da 17,2 a 20,8 m/s; da 20,8 a 50,0 m/s). All'interno di ciascun file sono inclusi i valori di frequenza per tutte le quote e i mesi con lo stesso formato utilizzato per gli altri indici.



OPEN DATA
CONSULTA
I DATI DISPONIBILI
DI ARPAE



TORNA
ALL'INDICE

Appendice

DESCRIZIONE TECNICA DEL DATA-SET SPHERA

In Emilia-Romagna, Arpa Simc ha sviluppato un data-set di ri-analisi ad alta risoluzione chiamato SPHERA, ottenuto mediante l'uso di un metodo di regionalizzazione dinamico a partire dalla ri-analisi ERA5 (ECMWF Reanalysis versione 5) prodotta per il Servizio Copernicus dal Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine (ECMWF), uno dei prodotti di monitoraggio della Terra finanziati dall'Unione europea per il monitoraggio del Clima e dei Cambiamenti climatici a livello globale ed europeo. Il dataset SPHERA, reso disponibile solo recentemente, è ottenuto utilizzando il modello non idrostatico ad area limitata del consorzio COSMO (Consortium for Small scale MOdelling), descritto in Schättler et al. (2018) e usato operativamente fino al 2024 per le previsioni meteorologiche a uso istituzionale e di Protezione Civile sia a livello regionale sia nazionale. Questo data-set, che copre l'intero territorio nazionale con scala temporale oraria sul periodo 1995-2020, è stato descritto in Cerenzia et al. (2022) e rappresenta uno dei prodotti di stato dell'arte più recenti e più aggiornati disponibili ai fini della produzione di un atlante eolico sui territori italiani.

Vista la sua risoluzione, come vedremo, è preferibile al data-set ERA5, da cui prende origine e che è caratterizzato da una risoluzione orizzontale di circa 35 km. Tale passo di griglia è infatti insufficiente per descrivere le caratteristiche dell'atmosfera nei primi strati prossimi alla superficie, a causa delle grossolane approssimazioni che entrano in gioco nella rappresentazione di fenomeni fortemente localizzati, e del limitato dettaglio con cui viene rappresentata la complessità orografica e della linea di costa.

Ai fini della produzione del data-set, il modello è stato utilizzato a una risoluzione orizzontale di 2,2 km e con 65 livelli verticali, che seguono il terreno e che si estendono fino a 22.000 m di quota. Diciannove di questi livelli sono collocati nei primi 1.000 m sopra la superficie. La griglia originale del modello è una griglia regolare ruotata, utilizzata al fine di ridurre l'estensione necessaria a coprire il territorio nazionale; per produrre il presente atlante, i dati sono stati interpolati su una griglia regolare latitudine-longitudine, di più semplice uso, che copre con la stessa risoluzione della griglia originale tutta la regione e una porzione dell'Adriatico circostante alle coste.

L'alta risoluzione a cui il modello è utilizzato è compatibile con il rilassamento dell'approssimazione idrostatica delle equazioni del moto e la rappresentazione esplicita dei processi fisici. I parametri modellistici utilizzati per la produzione del data-set sono simili a quelli utilizzati per la produzione di previsioni meteorologiche operative ad alta risoluzione. L'evoluzione dello stato del modello è controllata da uno schema di assimilazione dati, che consiste in un rilassamento delle variabili prognostiche del modello verso una selezione di osservazioni disponibili all'interno dell'archivio di ECMWF, mentre i dati al contorno sono ottenuti dalla rianalisi globale ERA5. I parametri assimilati includono le componenti meridionale e zonale del vento, l'umidità relativa, la temperatura e la pressione, mentre la temperatura dell'aria a 2 m dalla superficie non è assimilata. Questi dati sono gli stessi che vengono assimilati operativamente in COSMO per la produzione delle previsioni operative. Va notato che né i volumi di riflettanza radar, né i dati rilevati dalla rete di monitoraggio superficiale delle reti non convenzionali (temperatura superficiale a 2 m, precipitazione, umidità relativa a 2 m), né i dati satellitari vengono importati in COSMO, nonostante gli ultimi contribuiscano indirettamente alla produzione della rianalisi ad alta risoluzione attraverso la determinazione delle condizioni al contorno e alla superficie del mare, ottenute mediante interpolazione a partire dai dati della rianalisi ERA5.

Per quanto riguarda la metodologia utilizzata per innestare il modello ad alta risoluzione nei dati globali di rianalisi a più bassa risoluzione, a seguito di uno studio di sensitività della bontà dell'analisi, i dati della rianalisi vengono prima regionalizzati innestando COSMO a risoluzione di 2,2 km direttamente con una metodologia di one-way nesting in ERA5, con un rapporto di innesto tra i due modelli di 15:1. Al fine di ridurre i potenziali impatti ai confini del dominio sull'area di interesse, il dominio del modello COSMO è stato ampliato di 25 punti griglia (circa 55 km) in ciascuna direzione rispetto alla configurazione normalmente utilizzata con un innesto progressivo, tipica della configurazione utilizzata operativamente in via previsionale. Le caratteristiche dei livelli più profondi del suolo nella rianalisi SPHERA, tra cui il contenuto di acqua, sono state inizializzate considerando una media

mobile di tre anni della temperatura del livello più profondo di suolo di ERA5, centrati nell'anno in corso, al fine di migliorare la qualità della rappresentazione del ciclo stagionale superficiale.

Per descrivere la climatologia del vento nei primi 350 m di atmosfera sopra la superficie, è stato deciso di estrarre dall'archivio di SPHERA le due componenti orizzontali del vento disponibili su griglia ruotata e ai livelli del modello (*tabella 1*), e di interpolarle su griglia regolare orizzontale

sul territorio dell'Emilia-Romagna e su livelli verticali disposti regolarmente tra la superficie e 350 m di quota. Va, infine, ricordato che in SPHERA il dato del vento a 10 m è una variabile disponibile come output diretto ogni ora, e viene diagnosticata nel corso dell'integrazione dal modello meteorologico sulla base delle parametrizzazioni attive negli strati più bassi del modello, partendo dalle componenti orizzontali del vento sul primo livello del modello.



TABELLA 1

Quote dei livelli verticali del modello COSMO nei primi 350 m dalla superficie

LIVELLO	ALTEZZA DALLA SUPERFICIE
55	346
56	298
57	255
58	217
59	182
60	151
61	123
62	97
63	73
64	51
65	30
66	10

BIBLIOGRAFIA

Cerenzia, I. M. L., Giordani, A., Paccagnella, T., & Montani, A. (2022). Towards a convection-permitting regional reanalysis over the Italian domain. *Meteorological Applications*, 29(5), e2092. <https://doi.org/10.1002/met.2092>

Schättler, U., Doms, G. & Schraff, C. (2018) A description of the nonhydrostatic regional COSMO-model. Part VII. User's guide, consortium for small scale modelling. Offenbach, 195pp: Deutscher Wetterdienst. https://doi.org/10.5676/dwd_pub/nwv/cosmo-doc_5.05_VII

RISULTATI DI VALIDAZIONE DEL DATA-SET SHERA PER IL VENTO A 10 M

Come passo preliminare ai fini della produzione dell'atlante eolico, in assenza di bibliografia specifica, è stata valutata la bontà della rianalisi ad alta risoluzione SPHERA per quanto riguarda i dati orari di vento a 10 m. Questi sono, infatti, gli unici dati osservativi di vento disponibili su una frazione significativa del periodo dal 1995 al 2020, per il quale è stata calcolata la ri-analisi SPHERA.

Ai fini della validazione è stato estratto il valore del vento a 10 m sui punti di griglia, utilizzando due diversi metodi:

- il punto di griglia più vicino alla stazione (di seguito NG);
- il punto di griglia ottimale individuato con il metodo di Pirmin Kaufmann (di seguito PK), descritto in Kaufmann (2008).

A seguire sono descritti i risultati ottenuti confrontando i valori di vento osservati dalle stazioni di monitoraggio Arpae, tutte collocate all'interno del territorio regionale, e modellati da SPHERA in alcuni punti stazione, che sono stati considerati rappresentativi di alcune aree climatiche regionali e che sono riportati nella mappa di *figura 30*:

- la stazione di **San Pietro in Capofiume**, localizzata nella pianura tra Bologna e Ferrara, rappresentativa di tutta l'area di pianura interna orientale;
- la stazione di **Pennabilli**, collocata in Romagna nel fondovalle del fiume Marecchia; è una stazione che risente

delle brezze di valle e viene usata per monitorare effetti di Garbino, vento di caduta appenninico osservato spesso in queste zone;

- la stazione di **Varsi**, collocata in Emilia nel fondovalle del fiume Ceno, affluente del Taro; è una stazione che risente delle brezze di valle e usata per monitorare eventi di foehn appenninico in queste zone;
- la stazione di **Rimini Urbana**, collocata in ambiente urbano lungo la costa, utile ai fini dell'eventuale sfruttamento delle brezze costiere da parte di impianti microeolici;
- la stazione di **Madonna del Fornelli**, collocata a 900 m s.l.m sull'Appennino bolognese, è utilizzata in genere per valutare il vento in quota;
- la stazione di **Rolo**, localizzata nella pianura reggiana, rappresentativa di tutta l'area di pianura interna occidentale.

Nella figura sono riportate anche, per ciascuna stazione, il nome, la quota reale, la quota del punto griglia più vicino del modello e la frazione di "terra/mare" del punto griglia considerato; un valore 1,0 per questo parametro indica che nel modello il punto è considerato completamente su terra ferma.

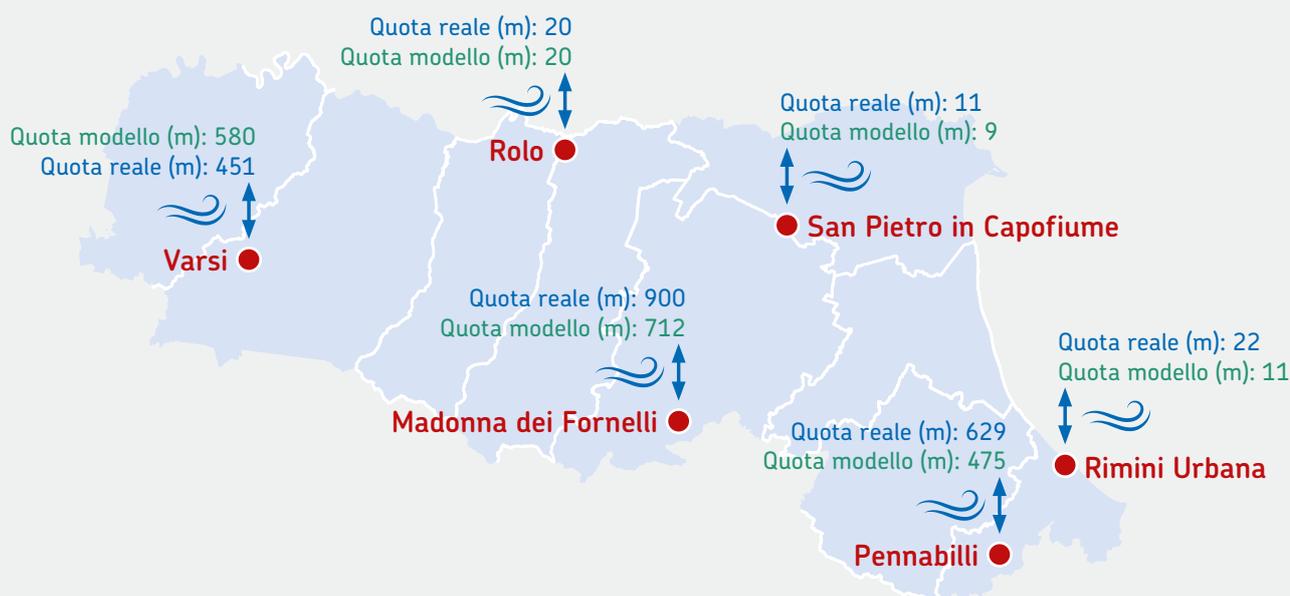
Per ciascuna di queste stazioni è stato fatto un confronto ai fini di determinare come SPHERA descriva alcune caratteristiche della distribuzione di intensità e direzione del vento.



FIGURA 30

Stazioni di monitoraggio Arpae selezionate ai fini della validazione del vento a 10 m

Per ciascuna stazione sono indicate: la quota della stazione, la quota del punto griglia del modello



Nota: tutti i punti griglia sono considerati completamente su terra ferma (frazione terra: 1)

La validazione è stata fatta in modo da confrontare le statistiche dei dati orari di vento (intensità e direzione) utilizzando solo coppie di dati osservati-modellati e selezionando solo i giorni per cui era presente almeno il 70% dei dati osservati, quindi eliminando tutti i dati di ri-analisi per cui non sia disponibile un corrispondente dato osservato, a seguito di un malfunzionamento della stazione.

Prima di tutto è stata definita una **soglia di intensità del vento al di sotto della quale si assume che il dato si riferisca a condizioni di calma di vento**, per le quali non è rilevante validare la rappresentazione modellistica della direzione. Tale soglia è stata fissata a **2 m/s**, che corrispondono a 7,2 km/h; è un valore leggermente superiore a quello tipico delle calme di vento osservate, pari a 1 m/s, e scelto sapendo che il modello tende a sottostimare i venti in superficie. In questo modo, alzando leggermente la soglia si evita di validare la direzione di venti che nel modello ricadono spesso tra le calme.

Sono state quindi create, per i dati di vento con intensità superiori a 2 m/s, le **rose dei venti** osservate e modellate, queste ultime utilizzando i due metodi di calcolo del vento puntuale modellato, NG e PK. Nelle rose dei venti, sono state considerate otto classi di direzione e sette classi di intensità del vento. Le classi di direzione sono per venti da nord, da nord-est, da est, da sud-est, da sud,

da sud-ovest, da ovest e da nord-ovest, ciascuna delle quali include un intervallo di direzioni di 45°. Le classi di intensità del vento sono:

- da 2,0 a 5,5 m/s
- da 5,5 a 8,0 m/s
- da 8,0 a 10,8 m/s
- da 10,8 a 13,9 m/s
- da 13,9 a 17,2 m/s
- da 17,2 a 20,8 m/s
- da 20,8 a 50 m/s.

Tali classi sono state definite in base alla scala Beaufort, che originariamente era usata per classificare la forza del vento basandosi sull'osservazione degli effetti del vento sul mare, e dal 1° gennaio 1949 ha assunto valore internazionale per scelta dell'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO), che ne ha ridefinito le classi in base alle intensità del vento misurate a 10 m dal suolo.

Per i venti inferiori a 2 m/s sono stati invece confrontati i conteggi complessivi di numero di eventi, con **intensità dei venti deboli** su 4 classi di intensità:

- da 0 a 0,5 m/s
- da 0,5 a 1,0 m/s
- da 1,0 a 1,5 m/s
- da 1,5 a 2,0 m/s.

Stazione di San Pietro in Capofiume

In *figura 31* è presentato il confronto fra le rose dei venti e le distribuzioni di frequenze dei venti deboli, osservate e modellate, per la stazione di San Pietro in Capofiume, collocata nella pianura tra Bologna e Ferrara e rappresentativa delle condizioni tipiche delle aree della pianura orientale. Il modello non riscontra ostacoli nel rappresentare correttamente l'orografia in questo punto, collocato in aperta campagna. Ai fini della validazione sono stati considerati i dati di vento rilevati presso questa stazione a partire dal 1° gennaio 2000 fino a dicembre 2020.

In generale, per questa stazione, non c'è differenza tra i risultati dei due metodi con cui è stato estratto il dato modellato, NG e PK. Questo risultato era in parte atteso, perché in assenza di orografia e di altre variazioni di uso del suolo in superficie in un vasto intorno della stazione,

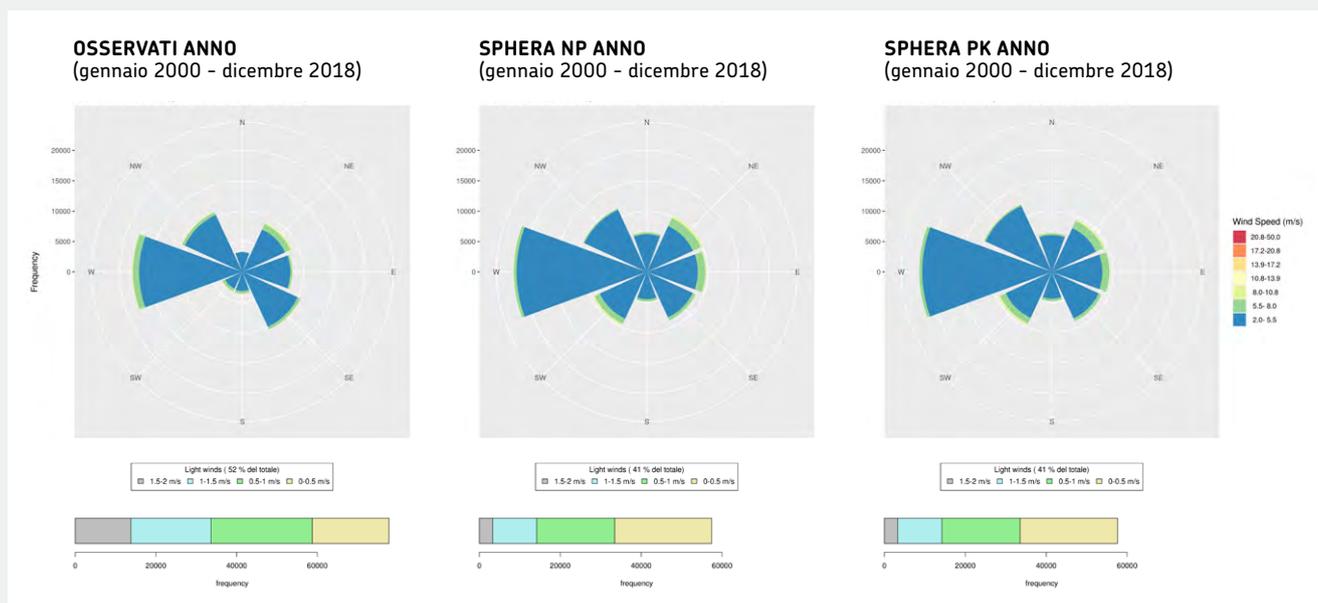
il vento a 10 m presenta una dipendenza dalla posizione geografica poco significativa.

Dalle rose del vento si può notare che per quanto riguarda i venti con intensità superiore ai 2 m/s **le direzioni più frequenti sono catturate dal modello**, che presenta una lieve sovrastima di frequenza per le direzioni da sud-ovest e da ovest. Anche le frequenze di intensità per le classi tra 5,5 e 8,0 m/s e tra 8,0 e 10,8 m/s, le più alte osservate verificarsi con frequenze significative, in prima approssimazione si può affermare che sono riprodotte dal modello abbastanza fedelmente. Per quanto riguarda invece la frequenza di accadimento delle varie **classi di vento debole**, in generale **il modello sovrastima il numero di casi** per tutte le classi, pur mantenendo il rapporto relativo fra le frequenze delle quattro classi considerate.



FIGURA 31

Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di San Pietro in Capofiume



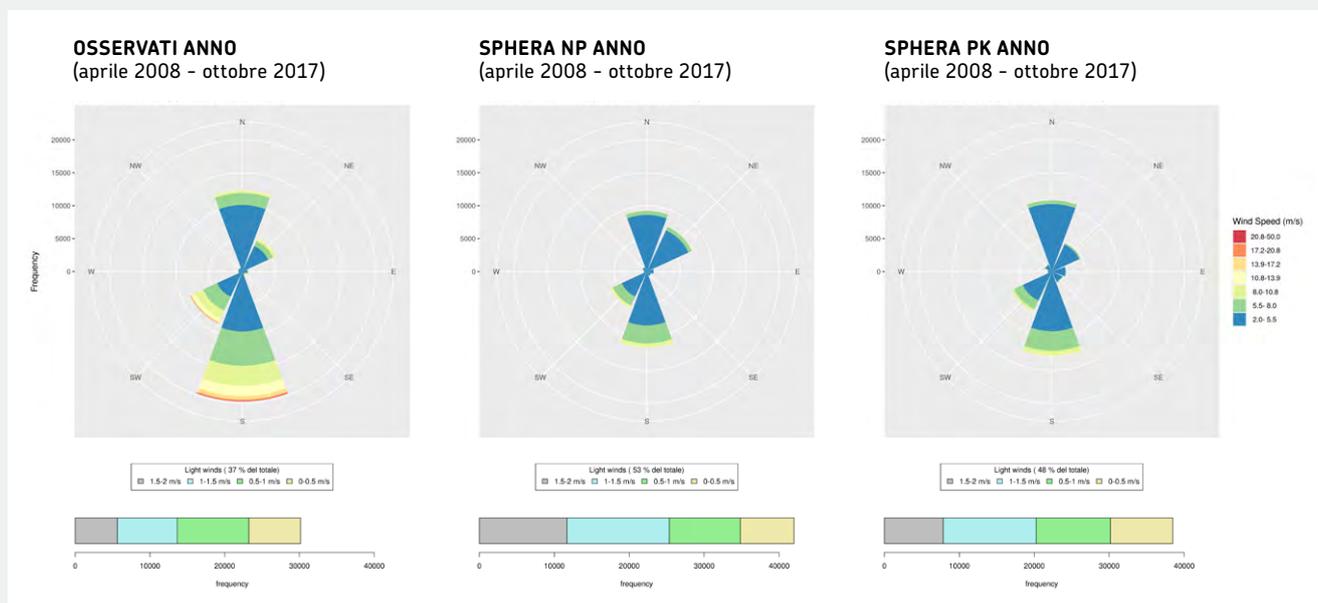
Stazione di Pennabilli

La stazione di Pennabilli è collocata a 629 m s.l.m. nell'alta valle del fiume Marecchia, in Romagna. La sua posizione la rende particolarmente utile ai fini del monitoraggio delle brezze di valle e degli eventi di Garbino, il vento di caduta appenninico, osservato in queste aree nei fondovalle. Nel modello la stazione è caratterizzata da una quota più bassa rispetto alla realtà. Per la validazione sono stati usati i dati dalla data di inizio misurazioni della stazione, aprile 2008, fino al 2020.

La *figura 32* presenta il confronto tra dati osservati e modellati per le rose del vento osservate e modellate per i venti intensi e per il numero di eventi di intensità per classi, nel caso di venti deboli. Nel caso di questa stazione si ottengono performance del modello leggermente migliori estraendo i dati con il metodo PK, anche se le differenze tra i risultati ottenuti con PK e quelli ottenuti con NG sono in realtà piccole. Confrontando le rose dei venti si nota che anche in questo caso **il modello riesce a catturare la distribuzione**

delle direzioni in modo adeguato e la loro importanza relativa. Ha invece problemi nel rappresentare l'intensità del vento, in particolare nella rosa dei venti osservati, sono presenti, nella classe di venti da sud, frequenze significative di eventi per tutte le classi di intensità del vento considerate fino alla più intensa, mentre nella rosa dei venti modellati, la classe più intensa significativamente popolata è quella di mezzo, tra 10,8 e 13,9 m/s. È possibile che questo bias sia legato alla presenza dell'orografia. A questo si somma il fatto che il punto di griglia considerato è collocato a una quota più bassa rispetto alla realtà e che la risoluzione del modello non riesce a rappresentare la complessità dell'orografia reale, anche nel contesto dei rilievi appenninici. Per quanto riguarda i venti deboli, **il modello sovrastima il numero totale di calme. La distribuzione relativa delle frequenze** fra le quattro classi considerate è abbastanza simile a **quella osservata**, soprattutto quando si utilizza il metodo PK per estrarre il valore del modello da confrontare con le osservazioni.

FIGURA 32 Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di Pennabilli



Stazione di Varsi

La stazione di Varsi è collocata a 803 m s.l.m. lungo la valle del Ceno, un affluente del Taro. Similmente alla stazione di Pennabilli, anche questa è particolarmente utile ai fini del monitoraggio delle brezze di valle e degli eventi di foehn appenninico, osservato nei fondovalle emiliani. Il punto griglia del modello più vicino alla stazione di Varsi è a una quota superiore a quella reale. Nel caso di questa stazione, la validazione ha utilizzato i dati osservati di vento a partire da novembre 2002, corrispondente alla data di installazione.

Anche nel caso di questa stazione, collocata come la precedente in una valle, le statistiche ottenute con diversi metodi di estrazione presentano differenze significative e PK sembra dare risultati più simili ai dati osservati.

Per quanto riguarda i venti intensi, anche in questo caso **le principali direzioni sono catturate, anche se il**

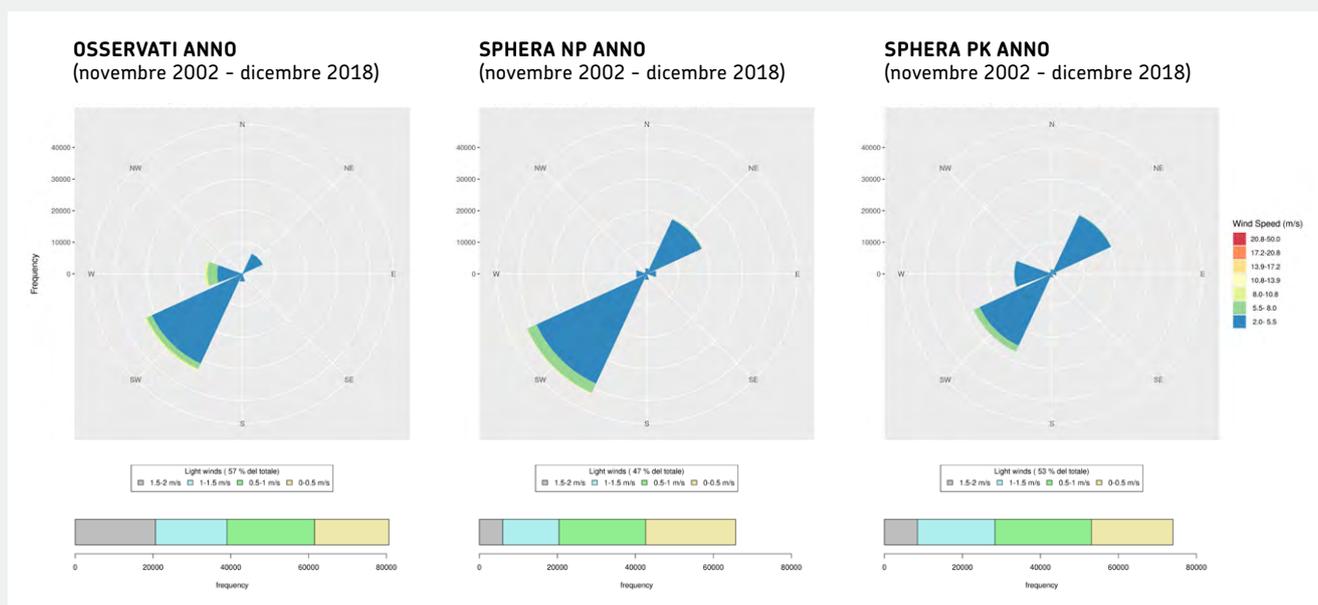
modello sovrastima nettamente la frequenza dei venti da nord-est e sottostima leggermente quella dei venti da sud-ovest. I venti osservati più intensi in questa stazione si osservano nelle direzioni da ovest e da sud-ovest, per le quali sono registrate frequenze significative fino alla categoria tra 8,0 e 10,8 m/s, mentre il modello presenta frequenze significative solo nella classe tra 5,5 e 8,0 m/s per i venti da sud-ovest e addirittura in quella tra 2,0 e 5,5 m/s per i venti da ovest.

Per quanto riguarda i **venti deboli**, il **numero di eventi totali è solo leggermente sottostimato e la categoria con intensità più alta delle quattro è sottorappresentata rispetto alle altre** nel modello rispetto ai dati osservati. La posizione sopraelevata del punto griglia utilizzato ai fini della validazione rispetto alla stazione può giustificare questo risultato.



FIGURA 33

Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di Varsi



Stazione di Rimini Urbana

È collocata a breve distanza dalla costa all'interno dell'area urbana di Rimini. È posizionata in cima a un edificio a un'altezza dal suolo di 15 m e a 22 m s.l.m. L'anemometro di questa stazione è rappresentativo del vento negli strati appena superiori alla silhouette degli edifici urbani ed equivalente a un anemometro collocato a 10 m dal suolo in ambiente rurale. La collocazione dell'anemometro nei pressi della costa lo rende particolarmente adatto per la verifica della rappresentazione delle brezze di mare, osservate lungo le aree costiere della regione. Il punto griglia del modello più vicino alla stazione è un punto di terra a diretto contatto con il mare. La stazione è stata attivata a partire dal mese di maggio 2004.

La **figura 34** presenta la distribuzione delle intensità e delle direzioni dei venti più intensi attraverso le rose dei venti e la distribuzione di intensità dei venti deboli sotto la soglia di 2,0 m/s per i dati osservati e per quelli modellati. Si nota che le differenze tra le due tipologie di dati modellati estratti sono molto inferiori rispetto alla differenza tra dati modellati e osservati.

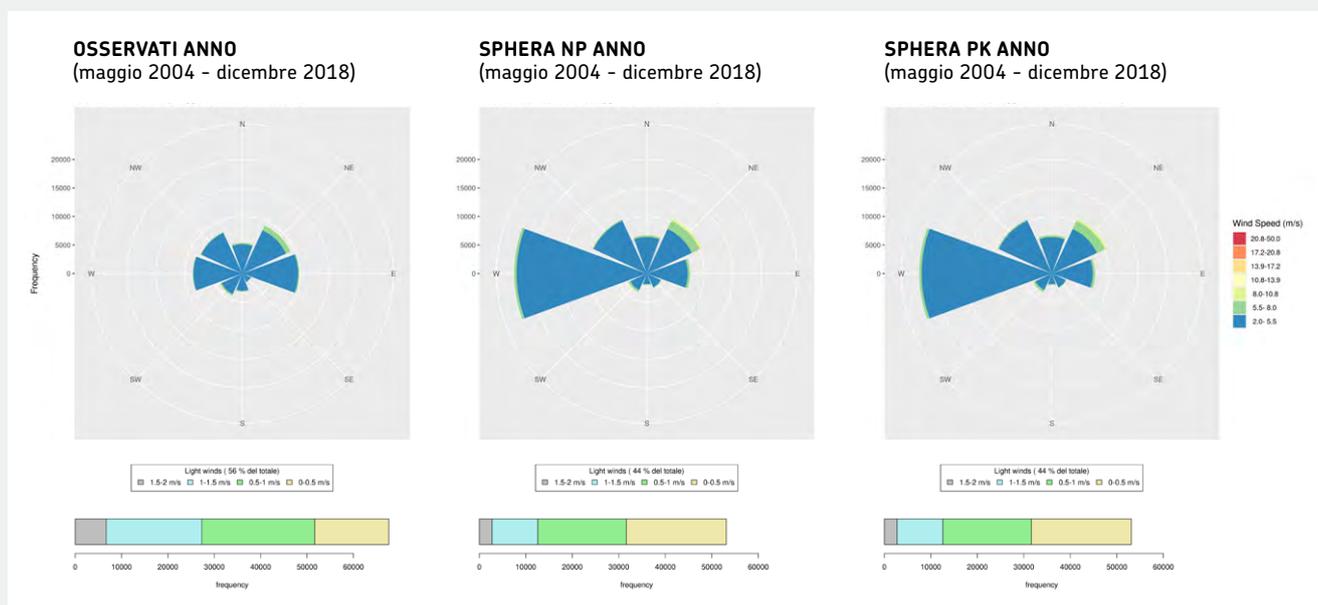
Un primo aspetto rilevante è la **netta sovrastima nella frequenza di venti da ovest nei dati modellati rispetto agli osservati e una lieve sottostima di quelli da est**. In questa stazione le rose dei venti non indicano la presenza di una sottostima degli eventi intensi per nessuna delle direzioni.

In corrispondenza alla sovrastima di eventi con venti sostenuti, si nota una **sottostima nel numero di eventi di vento debole modellati rispetto agli osservati** e una diversa distribuzione delle frequenze fra le varie categorie di intensità. Queste caratteristiche particolari sembrano essere tutte collegate al fatto che l'anemometro della stazione urbana è comunque collocato sulla terra a una certa distanza dalla costa, mentre, come già menzionato, per il modello il punto più vicino è un punto di confine tra la terra e il mare. Ne consegue un effetto meno efficace della superficie nel ridurre il vento negli strati più bassi, soprattutto nel caso del vento da ovest, che risulta essere approssimativamente parallelo all'orografia.



FIGURA 34

Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di Rimini Urbana



Stazione di Madonna dei Fornelli

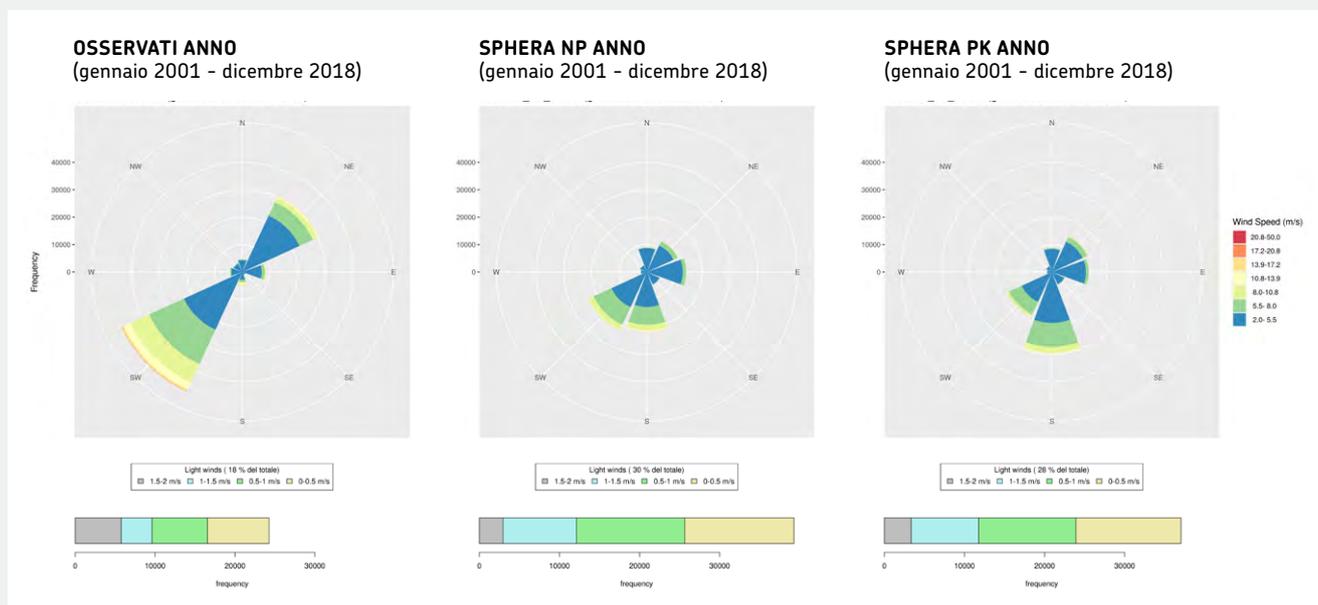
La stazione di Madonna dei Fornelli è collocata a 900 m di quota sull'Appennino bolognese lungo la valle del Setta, affluente del Reno. Questa stazione è utilizzata per monitorare il vento a quote più alte rispetto alla superficie e in condizioni più vicine all'aria libera, ed è attiva a partire dall'anno 2001. Il punto griglia del modello più vicino alla stazione è collocato a una quota significativamente inferiore a quella della stazione e l'orografia della griglia del modello nell'intorno differisce per morfologia a quella reale.

La **figura 35** presenta il confronto tra rose dei venti per valori di intensità superiore a 2 m/s e distribuzioni in classi di intensità per i venti più deboli. Nel caso di questa stazione le diversità di quota e morfologia del territorio tra realtà e modello hanno un impatto più netto sui risultati della validazione. In particolare, nella realtà, nel pannello di sinistra, la direzione da sud-ovest è di gran lunga prevalente e solo quella da nord-est presenta insieme a essa una popolazione significativa; i venti da sud-ovest presentano intensità che popolano significativamente tutte le categorie fino a quella tra 17,2 a 20,8 m/s. **La topografia**

del modello porta a una selezione meno netta delle direzioni di vento: molte direzioni presentano popolazioni confrontabili fra loro e usando la metodologia PK, quella prevalente è la direzione da sud, quasi assente nella realtà, mentre nel caso NG le direzioni da sud e da sud-ovest presentano popolazioni di simile numerosità. Anche per la **distribuzione delle intensità** le differenze sono marcate, e **il modello presenta una netta sottostima**, più marcata per la metodologia PK, che porta a popolare significativamente solo la categoria tra 8,0 e 10,8 m/s; nel caso della metodologia NG, invece si riscontra un lieve accenno alla presenza di un gruppo di casi con intensità tra 10,8 e 13,9 m/s.

Per quanto riguarda i **venti deboli**, coerentemente con i risultati delle rose per venti più intensi, si può notare che **il modello sovrastima il numero totale di eventi** che ricadono in questa categoria, quasi raddoppiandone il numero, e che parallelamente alla **classe di vento più intensa** tra le quattro considerate sia **significativamente sottorappresentata** rispetto alle altre e rispetto alla realtà.

FIGURA 35 Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di Madonna dei Fornelli



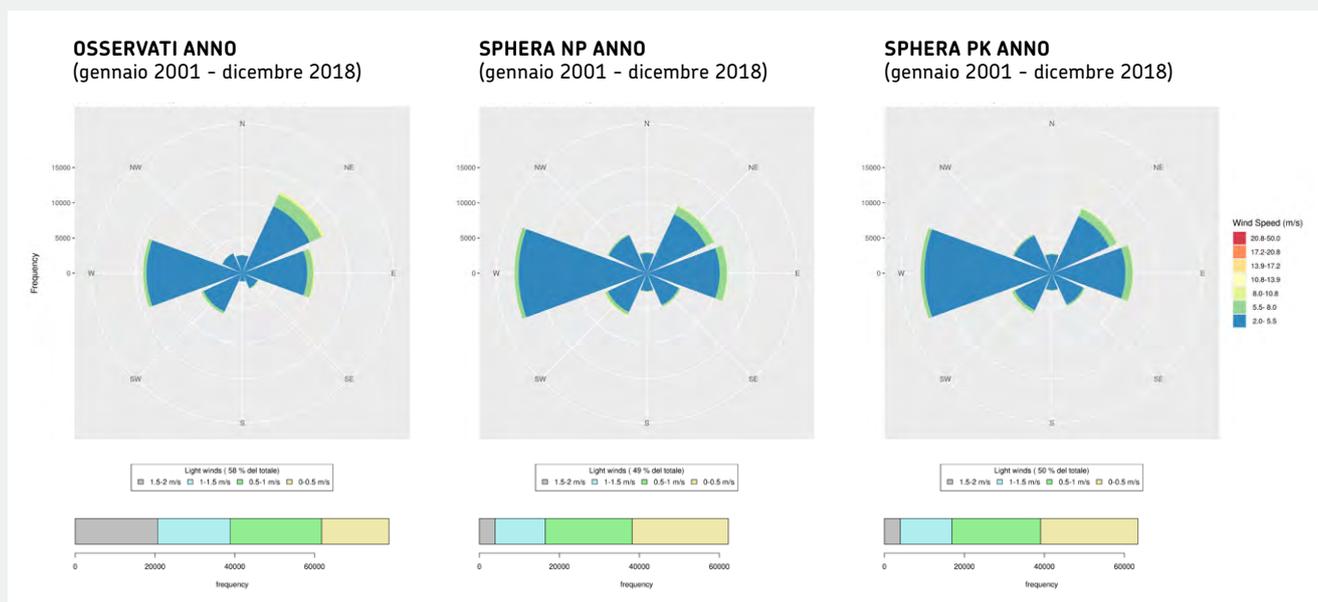
Stazione di Rolo

La stazione di Rolo si trova nella pianura reggiana. La posizione aperta, lontano dai rilievi e dalla costa, la rende rappresentativa dell'intera area di pianura occidentale della regione e il modello non riscontra particolari problemi legati all'orografia. La validazione nel seguito è stata fatta a partire dall'anno 2000, anno di installazione della stazione.

La **figura 36** presenta il confronto fra i dati osservati e modellati sia per i venti più intensi, per i quali sono presentate le rose dei venti, sia per quelli deboli, per i quali sono presentate le numerosità delle quattro classi di intensità. Da questa figura si può notare che non ci sono differenze significative fra i risultati ottenuti nei due diversi

modi di scegliere il punto griglia da confrontare con i dati osservati. In entrambi i casi, **i dati modellati catturano le tre principali direzioni** che caratterizzano i venti rilevati dalla stazione. In particolare, il modello sovrastima la frequenza di venti da ovest e in minor misura di quelli da est, e sottostima la frequenza dei venti da nord-est. In tutte le direzioni, le classi di intensità significativamente popolate nelle osservazioni sono presenti anche nei dati modellati. Per quanto riguarda **i venti deboli**, il numero di eventi che ricadono in questa categoria è sottorappresentato dal modello, che sottostima la classe di intensità più alta e sovrastima quella di intensità più debole.

FIGURA 36
Rose dei venti per vento moderato e intenso e numero di casi di vento debole per dati osservati (pannello sinistra) ed estratti dalla rianalisi SPHERA rispettivamente con metodo del nearest gridpoint (pannello centrale) e con metodo Pirmin Kaufman (pannello destra) per la stazione di Rolo

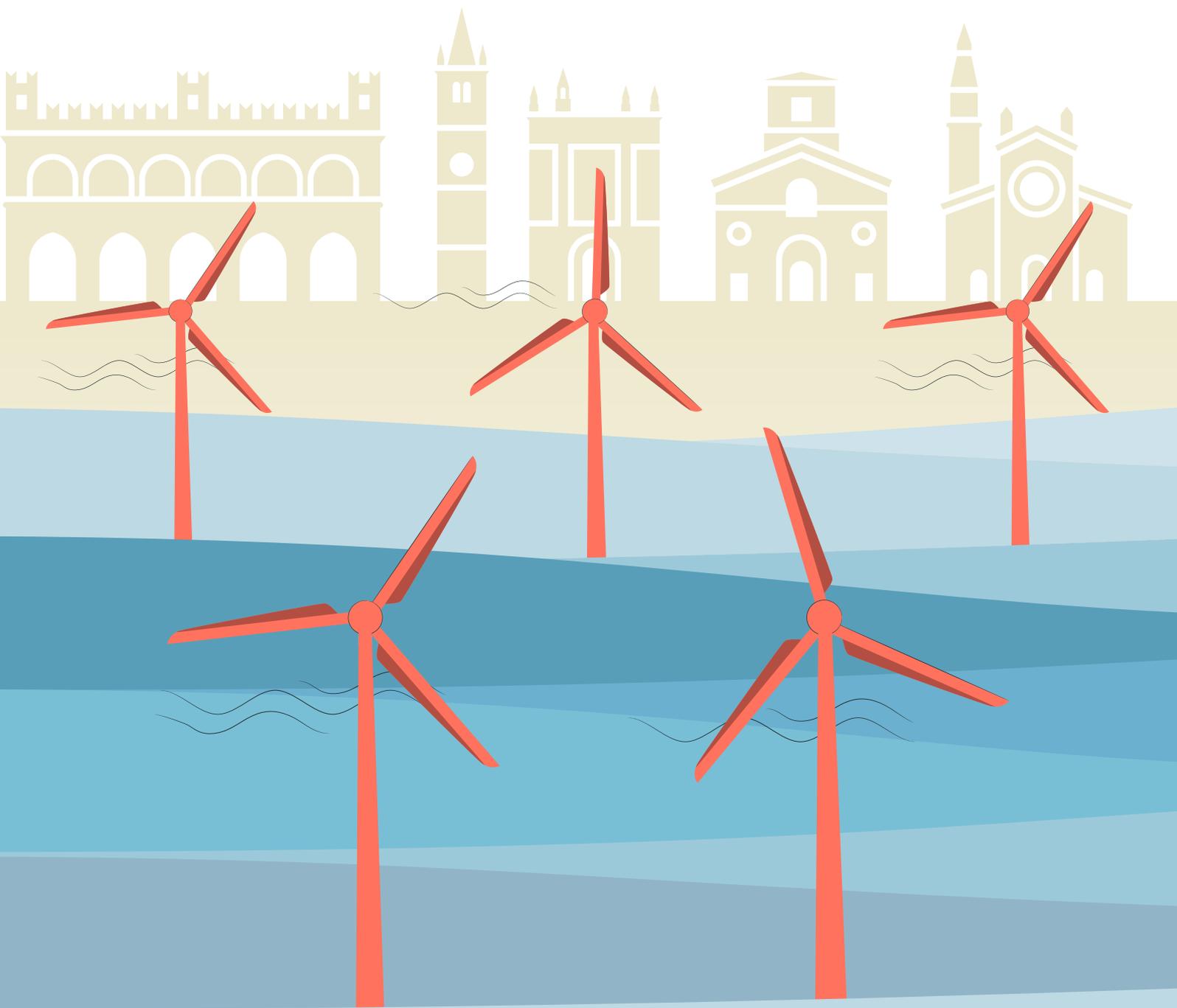


BIBLIOGRAFIA

Kaufmann P., 2008: Association of surface stations to NWP model grid points. COSMO Newsletter, n.° 9, 54-55.

Atlante eolico Emilia-Romagna

EDIZIONE 2024



A cura di:

arpae
agenzia
previdenza
ambiente energia
emilia-romagna

Struttura IdroMeteoClima
Viale Silvani, 6 - 40122 Bologna
www.arpae.it
www.arpae.it/clima

