

# Analisi di dati meteorologici da stazione

Benassi Federica - Ventrucci Chiara

Ottobre 2021

# 1 Introduzione

Lo scopo dell'esperienza è analizzare i dati delle stazioni meteorologiche a disposizione del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, valutandone la rappresentatività tramite il confronto con i dati di una stazione ARPAE. Lo studio è stato compiuto sui dati relativi a tre inverni e tre primavere ed è stato diviso in due parti:

- analisi di direzione e velocità del vento,
- analisi di campi meteorologici scalari (temperatura, pressione, umidità relativa, radiazione e tasso di precipitazione).

# 2 Dataset

Le tre stazioni meteorologiche DAVIS sono posizionate sul tetto del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, in via Bertini 6/2. I dati per ogni variabile vengono acquisiti ogni 30 minuti e in Tab.1 sono riportate le risoluzioni dello strumento per i vari campi.

<b>Velocità del vento (m/s)</b>	0.447	<b>Direzione del vento (°)</b>	22.5
<b>Temperatura (°C)</b>	0.01	<b>Umidità (%)</b>	1
<b>Radiazione (W/m<sup>2</sup>)</b>	1	<b>Tasso di precipitazione (mm/h)</b>	1

Tabella 1: Risoluzione delle stazioni meteorologiche DAVIS

I dati sono confrontati con le misure della stazione ARPAE “Bologna Urbana”, in particolare sono state selezionate velocità e direzione media del vento degli ultimi 10 minuti a 10 m dal suolo, temperatura dell'aria istantanea a 2 m dal suolo, pressione atmosferica istantanea a livello della stazione a 2 m dal suolo, precipitazione cumulata su un'ora, umidità relativa istantanea dell'aria a 2 m dal suolo, media oraria dell'irradianza globale visibile, massimo valore di raffica del vento a 10 m dal suolo nell'ora.

Per studiare l'andamento nel corso della stagione invernale sono stati utilizzati i dati relativi ai mesi di dicembre, gennaio e febbraio degli anni 2015/16, 2016/17 e 2017/18, mentre per la stagione primaverile quelli dei mesi di marzo, aprile e maggio per gli anni 2016, 2017 e 2018. Per le stazioni DAVIS sono stati mantenuti solo i dati orari per meglio confrontare i due dataset.

# 3 Analisi del campo di vento

Inizialmente i dati di vento sono stati filtrati secondo le indicazioni del WMO: sono stati esclusi, infatti, tutti i casi in cui si sono verificate velocità negative o superiori ai 25 m/s e direzione negativa o maggiore di 360° ed è stata verificata la persistenza di velocità e direzione nel tempo. La risoluzione di anemometro e banderuola della stazione non permette, tuttavia, di apprezzare le variazioni prese come riferimento dal WMO, riportate nella Tab.2.

Grandezza	Tempo	Variazione
Velocità	3 ore	< 0.1 m/s
Velocità	12 ore	< 0.5 m/s
Direzione	3 ore	1°
Direzione	18 ore	10°

Tabella 2: Standard WMO sul filtraggio di dati con valori persistenti nel tempo

È stato, quindi, necessario riadattare i filtri ai limiti delle stazioni meteorologiche a disposizione. In particolare, si è scelto di fissare come valore di soglia le risoluzioni stesse degli strumenti, mantenendo gli

intervalli temporali del WMO, come riportato in Tab.3. Provare a escludere i valori con variazione in velocità inferiore a 0.5 m/s per 6 ore si è rilevato un criterio troppo restrittivo, mentre c'era poca differenza tra utilizzare 9 o 12 ore. La percentuale di dati esclusi in funzione della direzione, estendendo l'intervallo temporale da 18 a 21 h, passava, invece, dal 6% al 4%, differenza poco significativa, fino ad annullarsi nel caso di 24 h.

Grandezza	Tempo	Variazione
Velocità	12 ore	$< 0.5 \text{ m/s}$
Direzione	18 ore	$< 22.5^\circ$

Tabella 3: Filtri scelti

Il risultato dell'applicazione di tali filtri ai dati è riportato in Fig.1.

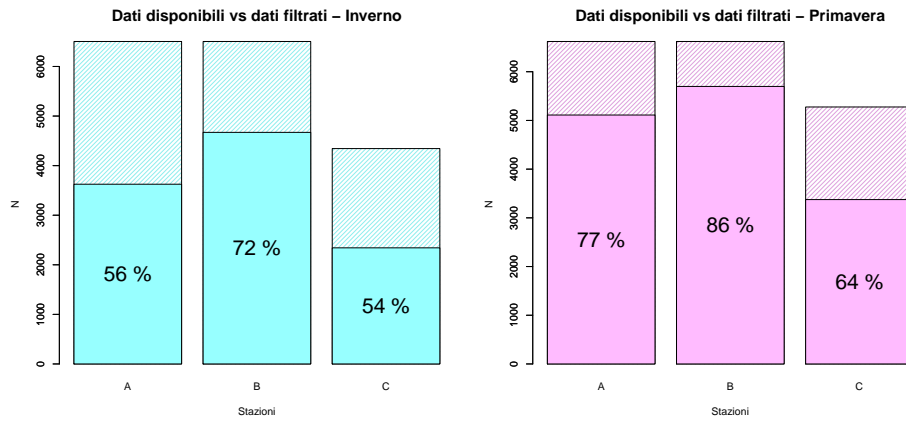


Figura 1: Risultato dell'applicazione dei filtri ai dati delle stazioni DAVIS. La percentuale indicata rappresenta la frazione di dati validi rispetto a quelli inizialmente disponibili.

Come si può osservare, sono disponibili più dati per la stagione primaverile rispetto a quella invernale, in particolare per la stazione B. In Fig.2 sono rappresentate le percentuali di dati rigettati in base a ciascun filtro.

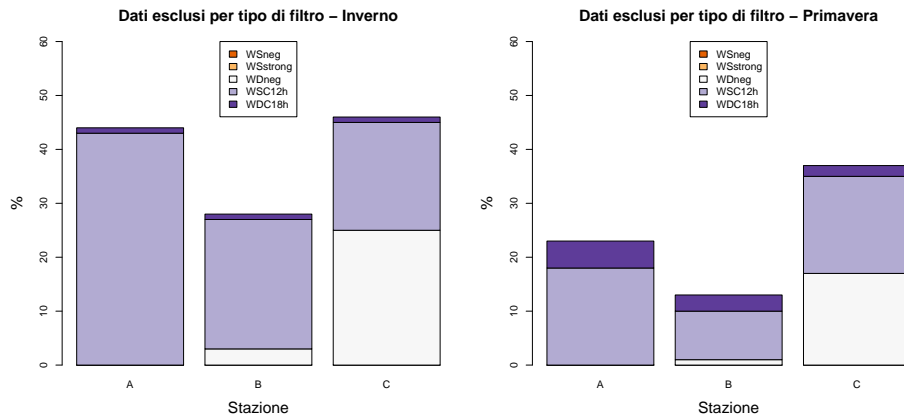


Figura 2: Dati esclusi per ognuna delle tre stazioni in base al filtro applicato

Il filtro responsabile della maggior parte del rigetto dei dati è quello relativo alle variazioni della velocità (in viola chiaro), ma ciascuna stazione presenta alcune peculiarità: nella stazione C, per esempio, circa un quinto dei dati è stato rigettato a causa di valori negativi di direzione del vento (in bianco), sia in inverno sia in primavera. Gli anemometri installati sulle stazioni sono costruiti in modo tale da fornire solo valori positivi di direzione, compresi tra 0 e 360°: solo in caso di anomalia viene restituito un valore negativo e pari a -99.9. Di conseguenza, questo potrebbe rappresentare un persistente malfunzionamento della banderuola della stazione C nei periodi di tempo che sono stati considerati.

Dato che lo scarto di oltre il 40% dei dati della stazione A nel periodo invernale è attribuibile al filtro sulla persistenza della velocità, le misure sono state confrontate con quelle dello stesso periodo acquisite dalla stazione B. Come visibile in Fig.3, una grande frazione di dati è comune alle due stazioni, soprattutto nel caso di velocità poco intense, facendo ipotizzare che si trattasse effettivamente di una condizione di vento con velocità costante e non di un'anomalia nel funzionamento di entrambi gli strumenti. I dati comuni sono stati, dunque, reintegrati nei dataset per le successive analisi. In primavera, invece, la frazione di dati scartati in base a questo criterio è nettamente inferiore, al massimo intorno al 18%.

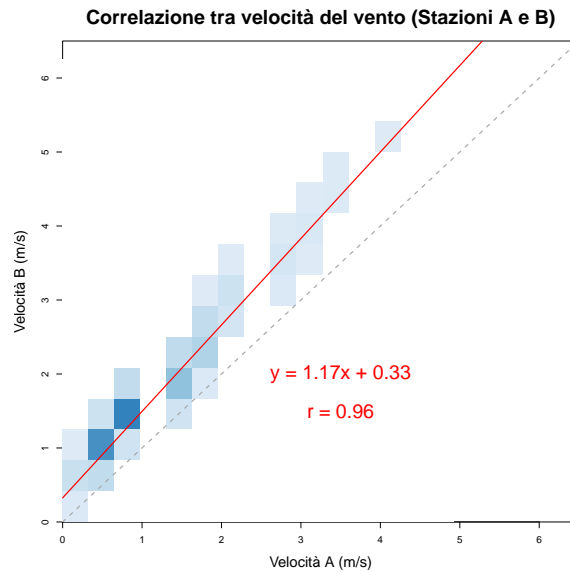
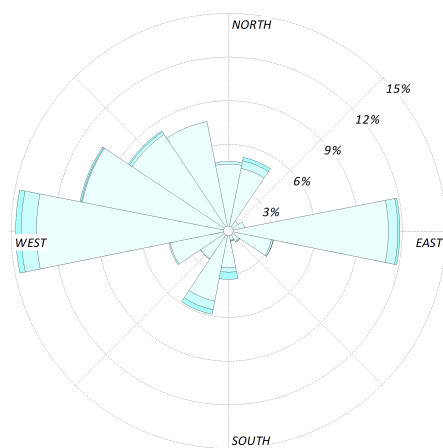


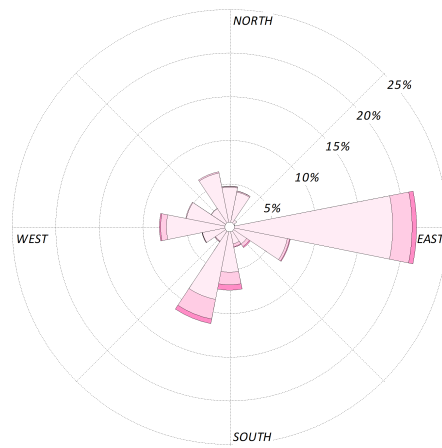
Figura 3: Correlazione tra dati di velocità del vento sospetta registrati dalle stazioni A e B

A partire dai dati filtrati è possibile costruire le rose dei venti relative alle due stagioni per ciascuna stazione, riportate in Fig.4. Emerge un buon accordo tra i dati misurati dalla stazione A e dalla stazione B, sia in inverno sia in primavera, registrando venti provenienti da tutte le direzioni. In particolare, in inverno prevalgono venti provenienti da ovest e nord-ovest, mentre in primavera è presente una forte componente di vento da est. In inverno i venti tendono a essere meno intensi ma più omogenei nelle varie direzioni rispetto alla primavera. La rosa costruita a partire dai dati della stagione C ha un andamento simile per angoli compresi tra 180° e 360°, mentre tende a non registrare i venti provenienti dalle altre direzioni, in particolare da est; le velocità misurate sono, tuttavia, nettamente inferiori, con una percentuale molto maggiore di vento calmo. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza di edifici che schermano la stazione.

Considerando il campo ottenuto dalla stazione B come il più affidabile, dato il maggior numero di dati a disposizione, se ne può valutare la rappresentatività confrontandolo con quello ottenuto a partire dai dati acquisiti nello stesso periodo dalla stazione ARPAE “Bologna Urbana”. L’anemometro e la banderuola hanno una risoluzione decisamente inferiore rispetto alle stazioni del dipartimento, pari rispettivamente a 0.1 m/s per la velocità e 1° per la direzione. L’applicazione dei filtri rimuove, quindi, soltanto il 3% dei dati nel periodo invernale. I dati finali disponibili nel periodo primaverile, invece, subiscono una riduzione del 22%: questo è dovuto a un prolungato periodo di malfunzionamento dell’anemometro tra 16 marzo e 11 maggio 2017, per il quale non sono presenti dati.

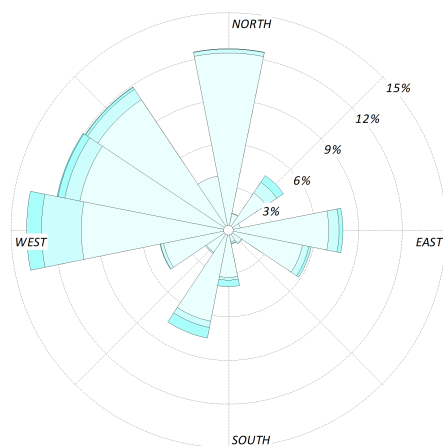


Calms: 14,35%

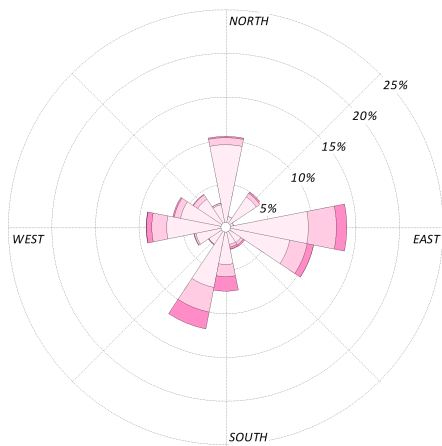


Calms: 8,79%

### Stazione A

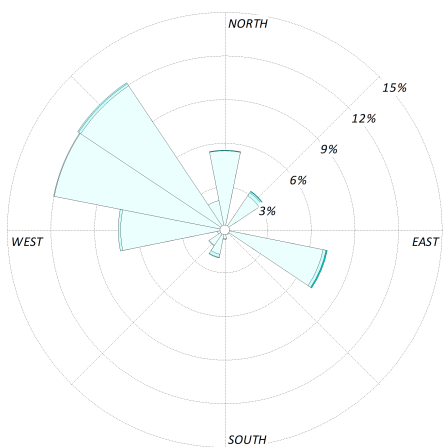


Calms: 5,01%

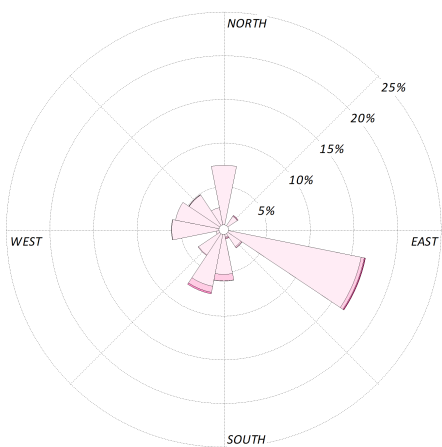


Calms: 4,21%

### Stazione B



Calms: 44,87%



Calms: 32,35%

### Stazione C

WIND SPEED (m/s)

<span style="color: #008080;">■</span> $\geq 11,10$	<span style="color: #00B0F0;">■</span> 8,80 - 11,10	<span style="color: #00FFFF;">■</span> 5,70 - 8,80
<span style="color: #40E0D0;">■</span> 3,60 - 5,70	<span style="color: #87CEFA;">■</span> 2,10 - 3,60	<span style="color: #ADD8E6;">■</span> 0,50 - 2,10

<span style="color: #DC143C;">■</span> $\geq 11,10$	<span style="color: #FF00FF;">■</span> 8,80 - 11,10	<span style="color: #FF69B4;">■</span> 5,70 - 8,80
<span style="color: #FF6347;">■</span> 3,60 - 5,70	<span style="color: #FFB6C1;">■</span> 2,10 - 3,60	<span style="color: #FFDAB9;">■</span> 0,50 - 2,10

Figura 4: Rose dei venti ottenute a partire dai dati delle stazioni DAVIS, in azzurro per la stagione invernale, in rosa per quella primaverile

La correlazione tra i valori misurati di velocità e direzione è molto bassa per entrambe le stagioni, pari rispettivamente a 0.5 e 0.3 per l'inverno e 0.49 e 0.38 per la primavera. Come emerge anche dal confronto tra le rose dei venti, riportate per la stazione ARPAE in Fig.5, le velocità misurate dalla stazione ARPAE sono mediamente più intense rispetto a quella della stazione B, probabilmente perché il flusso d'aria interagisce meno con gli edifici circostanti. Sembra, inoltre, che ci sia meno differenza tra la stagione invernale e primaverile nella distribuzione della direzione dei venti, ed è presente un'intensa componente da sud-ovest, nettamente superiore a quella misurata dalla stazione DAVIS. Il campo di vento ricavato a partire dai dati misurati dalle tre stazioni a disposizione non è, quindi, ben rappresentativo del campo effettivo.

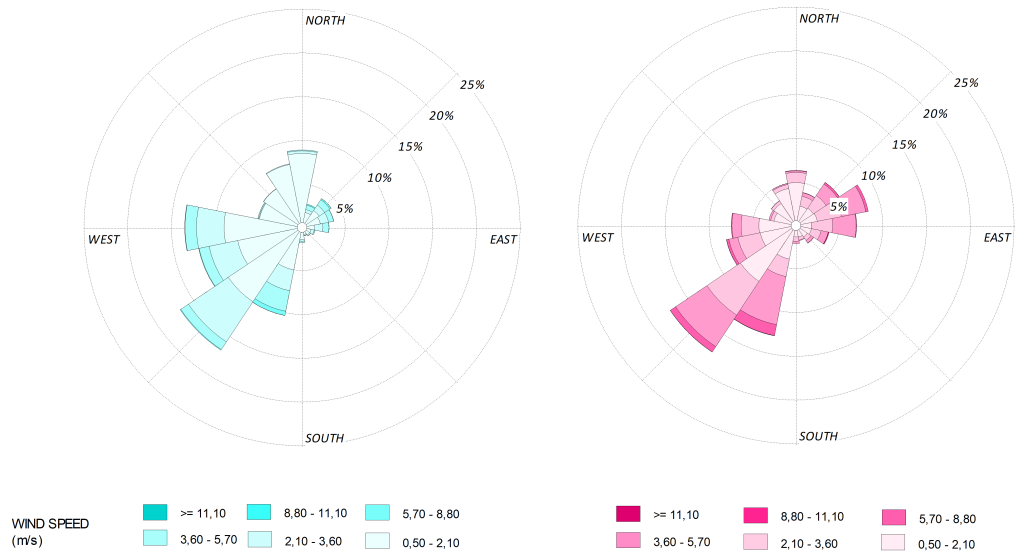


Figura 5: Rose dei venti ottenute a partire dai dati della stazione ARPAE, in azzurro per la stagione invernale, in rosa per quella primaverile

È possibile calcolare anche il ciclo diurno dei venti, ricavando l'andamento medio della velocità in una giornata invernale e primaverile, come riportato in Fig.6, utilizzando nuovamente i dati della stazione B.

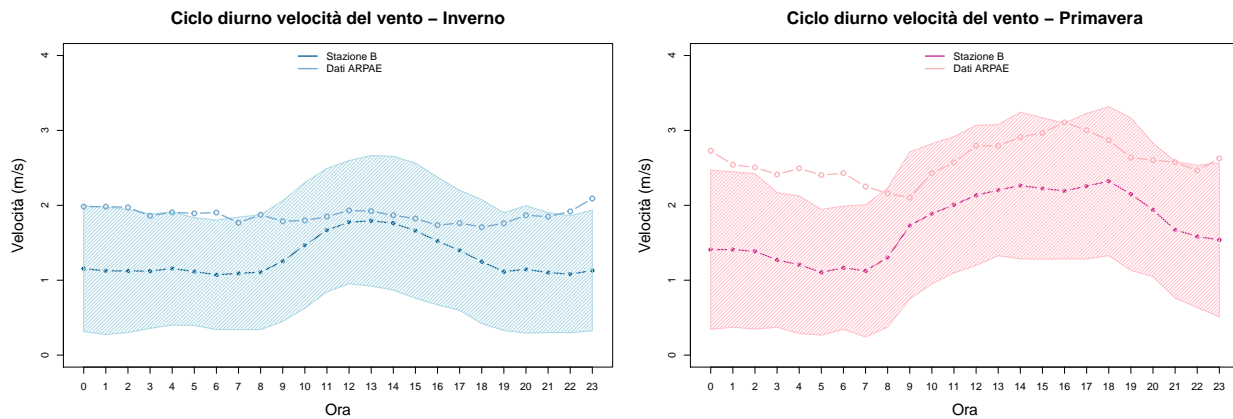


Figura 6: Ciclo diurno dei venti nella stagione invernale e primaverile a partire dai dati della stazione B e della stazione ARPAE. La linea centrale rappresenta il valore medio calcolato con i dati della stazione, i limiti dell'area tratteggiata il valore medio  $\pm 1 \sigma$ .

Si può notare che i venti tendono a essere più intensi verso mezzogiorno in inverno, per tutto l'arco del pomeriggio in primavera. Il risultato è, poi, confrontato con il ciclo diurno elaborato a partire dai dati della stazione ARPAE e, come emerso già dal confronto tra rose dei venti, la velocità è sottostimata dalle stazioni DAVIS. L'andamento, tuttavia, è molto simile, soprattutto in primavera.

## 4 Analisi dei campi scalari

Per i dati di temperatura, pressione, umidità, radiazione e precipitazione non sono stati definiti standard dal WMO; gli unici dati da escludere corrispondono, quindi, a periodi di malfunzionamento della stazione, chiaramente individuabili perché i valori misurati sono poco realistici. Osservando le distribuzioni dei dati, sono stati esclusi i valori negativi di umidità e radiazione, le temperature inferiori a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e i tassi di precipitazione superiori a  $200\text{ mm/h}$ . I dati di pressione non presentavano, invece, valori sospetti. Quasi tutti i dati anomali possono essere attribuiti allo stesso evento, verificatosi il 12/05/2017, approfondito nella sezione 5. C'è buon accordo tra i valori misurati dalle tre stazioni per tutte le variabili, come visibile in Fig.7.

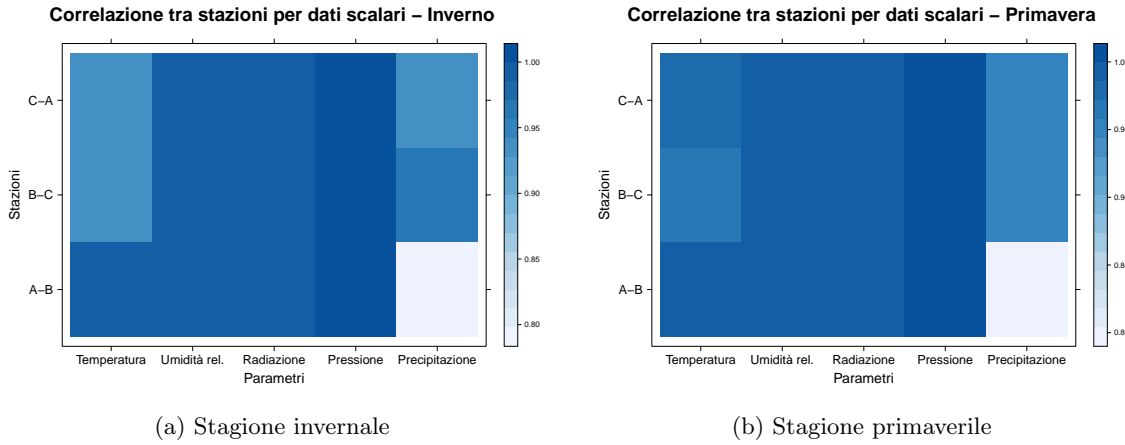


Figura 7: Correlazione lineare tra campi scalari delle stazioni DAVIS: più il colore è intenso, maggiore è la correlazione.

Il campo su cui le stazioni sono più in accordo è la pressione, in entrambe le stagioni; le maggiori differenze coinvolgono, invece, i campi di precipitazione e temperatura. Nel primo caso, la bassa correlazione è dovuta alla presenza di un alto numero di eventi, anche intensi, registrati soltanto da una delle due stazioni considerate: nel caso delle stazioni A e B in inverno, ad esempio, tali eventi rappresentano circa il 2% dei dati disponibili, mentre per le stazioni A e C o B e C l'1%. Molti più fattori di errore sono presenti, infatti, nella misura del tasso di precipitazione con un pluviometro rispetto, ad esempio, alla misura di temperatura con un termometro, rendendo più frequente registrare dati diversi nelle tre stazioni, anche se relativi allo stesso evento.

L'effetto sul campo di temperatura, invece, è attribuibile all'assenza nella stazione C di uno schermo ventilato. Come riportato in Fig.8a, infatti, i valori di temperatura misurati da C in inverno sono sistematicamente più bassi di quelli misurati da A e B, con una differenza di circa  $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La presenza o meno dello schermo ventilato sembra influire anche sulla misurazione della umidità relativa, come visibile in Fig.8b: se l'aria è molto umida, la stazione B misura valori di RH inferiori circa di 10 punti percentuali. Dal confronto tra le stazioni A e B, entrambe dotate di schermatura, si può ipotizzare che l'igrometro presente in A sovrastimi leggermente i valori di RH, soprattutto nel caso di aria più secca. Gli stessi effetti sono osservati in primavera. Dato che sia per temperatura sia per umidità relativa i coefficienti di correlazione sono molto vicini a 1, queste differenze possono essere facilmente corrette con una relazione lineare, con coefficiente angolare e intercetta ottenute da un fit.

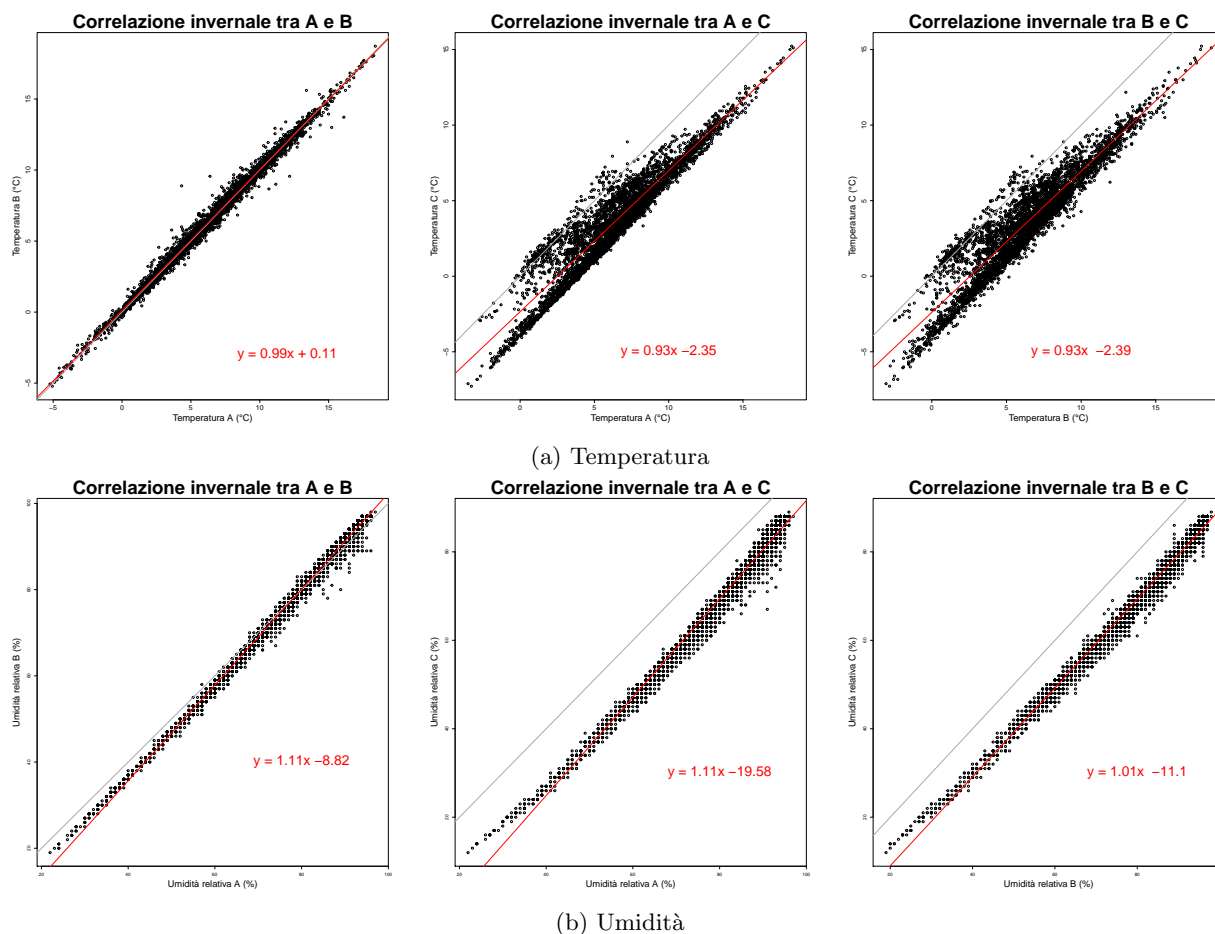


Figura 8: Correlazione lineare tra misure di temperatura e umidità relativa da parte delle stazioni DAVIS nella stagione invernale

Sono state poi studiate le correlazioni tra campi misurati dalla stessa stazione, in particolare la B. La variazione di velocità e direzione del vento non sembra influenzare in modo significativo il corretto funzionamento degli altri strumenti; emerge, però, una correlazione tra temperatura e umidità relativa, riportata in Fig.9. L'effetto è più evidente in primavera, mentre le misure invernali tendono a essere maggiormente diffuse. In primavera non sono registrati, infatti, eventi con bassi valori di umidità relativa a basse temperature e alta umidità ad alte temperature. Il risultato è coerente con le stagioni analizzate: in primavera, infatti, le temperature tendono generalmente a crescere e l'umidità a diminuire rispetto all'inverno.

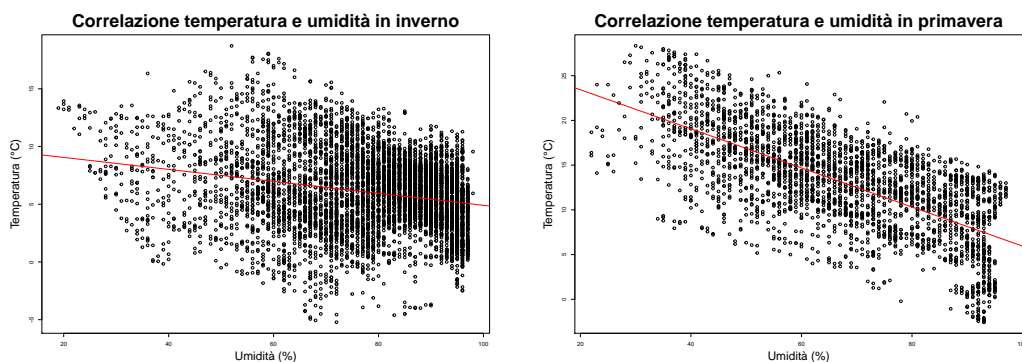


Figura 9: Correlazione tra misure di umidità relativa e temperatura per la stazione B



Un altro effetto atmosferico ben registrato dalla stazione è la tendenza a osservare temperature maggiori in presenza di intensa radiazione solare incidente, come riportato in Fig.10.

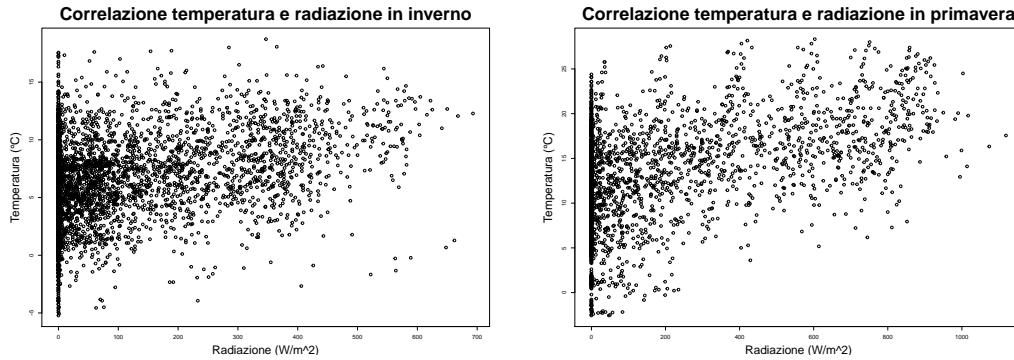


Figura 10: Correlazione tra misure di radiazione e temperatura per la stazione B

A partire dai dati raccolti è possibile calcolare il ciclo diurno di una tipica giornata invernale e primaverile, considerando le variazioni di temperatura, pressione, umidità e radiazione, riportati in Fig.11. La precipitazione ha un andamento troppo variabile per poter fare un'analisi di questo tipo.

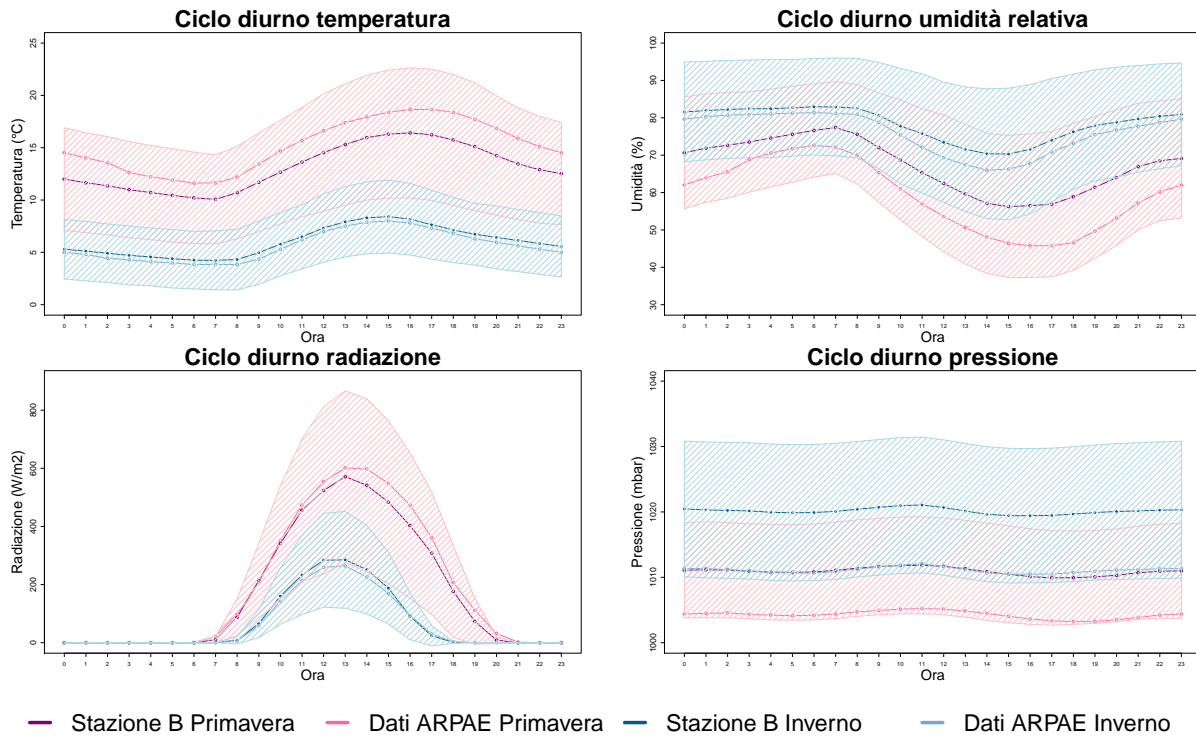


Figura 11: Cicli diurni per la stagione invernale e primaverile. La linea centrale rappresenta il valore medio calcolato con i dati della stazione, i limiti dell'area tratteggiata il valore medio  $\pm 1 \sigma$ .

L'andamento ottenuto è in linea con quanto aspettato per una stagione invernale e primaverile media: le temperature primaverili sono più alte di quelle invernali di circa 10 gradi, in particolare il massimo si osserva qualche ora dopo il picco di radiazione. L'umidità relativa è, invece, maggiore in inverno, così come la pressione, e ha un andamento opposto rispetto alla temperatura nel corso del giorno. Le fluttuazioni delle variabili atmosferiche sono, inoltre, maggiori in primavera rispetto all'inverno. I cicli diurni calcolati a partire dai dati della stazione ARPAE hanno un andamento molto simile a quelli ottenuti dai dati della stazione

DAVIS: si può supporre, quindi, che i campi di temperatura, pressione e umidità relativa misurati dalla stazione B siano ben rappresentativi delle rispettive variabili atmosferiche. Nel caso della pressione, invece, si osserva una sovrastima da parte della stazione DAVIS di circa 10 mbar sia in primavera sia in inverno.

## 5 Evento del 12/05/2017

All'interno del periodo selezionato per l'analisi sono stati rilevati molti dati sospetti acquisiti per i campi scalari in corrispondenza del 12/05/2017, per tutte e tre le stazioni DAVIS. A partire dalle ore 18, infatti, termometro, igrometro e radiometro della stazione B hanno iniziato a registrare valori negativi, pari rispettivamente a  $-73.28^{\circ}\text{C}$ ,  $-99.9\%$  e  $-99.9\text{ W/m}^2$ , fisicamente non plausibili. Alla stessa ora è stato registrato, inoltre, da tutte le stazioni, un alto tasso di precipitazione, come riportato in Fig.12.

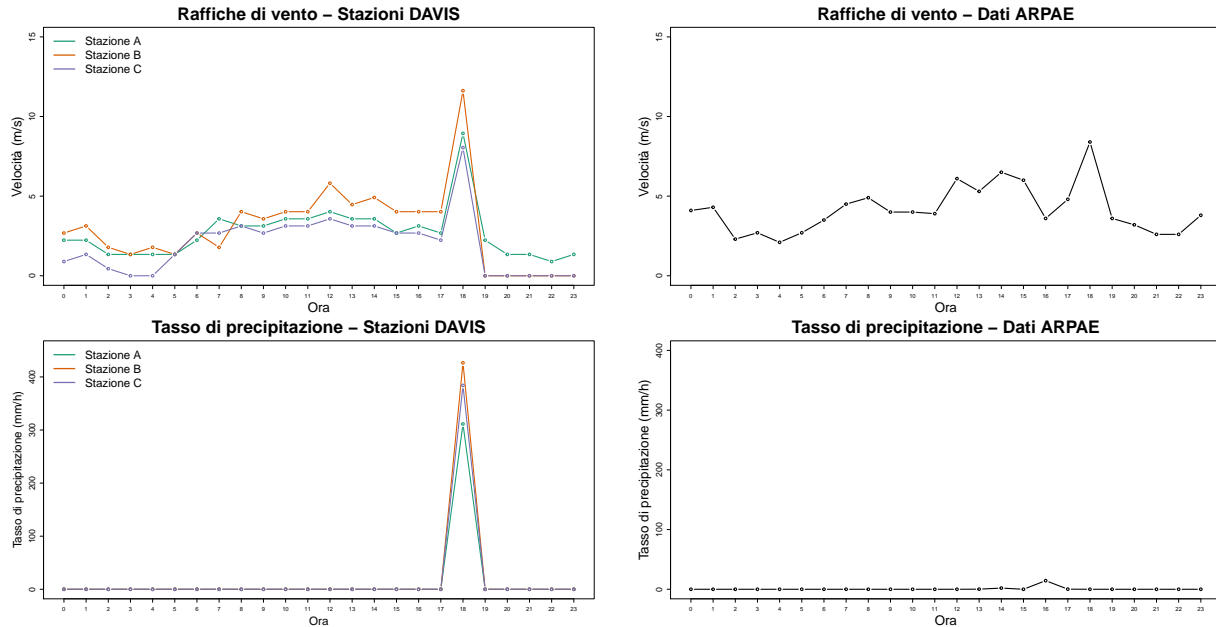


Figura 12: Andamento di velocità massima di una raffica di vento e del tasso di precipitazione durante l'evento del 12/05/2017

L'evento è stato molto veloce, concentrato nell'arco di un'ora. Dal confronto con i dati della stazione ARPAE per lo stesso giorno è evidente che i tassi misurati siano irrealistici, ma corrispondono a precipitazione piuttosto intensa, con un tasso dell'ordine di 15 mm/h. Altri elementi che fanno ipotizzare la presenza di tale evento sono una contemporanea diminuzione del 95% della radiazione incidente, registrata da tutte e tre le stazioni, e un aumento della velocità delle raffiche di vento. Anche il massimo di intensità di queste ultime si è verificato, infatti, proprio intorno alle 18, come si osserva dalla figura.

## 6 Conclusioni

L'analisi effettuata sui dati delle stazioni DAVIS a disposizione del DIFA mostra alcuni problemi di rappresentatività nei periodi considerati. In particolare, le velocità dei venti tendono a essere sottostimate e le misure di direzione sono compromesse dalla schermatura di edifici circostanti. Questo effetto coinvolge soprattutto la stazione C, per cui è stato anche rilevato un probabile malfunzionamento della banderuola. Gli andamenti dei campi di temperatura, umidità relativa, radiazione, pressione e precipitazione presentano maggiore accordo, invece, con i valori di riferimento della stazione ARPAE, nonostante alcuni offset. La correlazione è molto alta anche tra le singole stazioni, soprattutto tra A e B, data la presenza in entrambe dello schermo ventilato. Le stazioni sembrano essere più adatte a operare in situazioni in cui non si verifichino

brusche variazioni dei parametri misurati: un evento di precipitazione più intensa come quello del 12/05/2017 è stato, infatti, identificato, ma i valori registrati non sono plausibili.