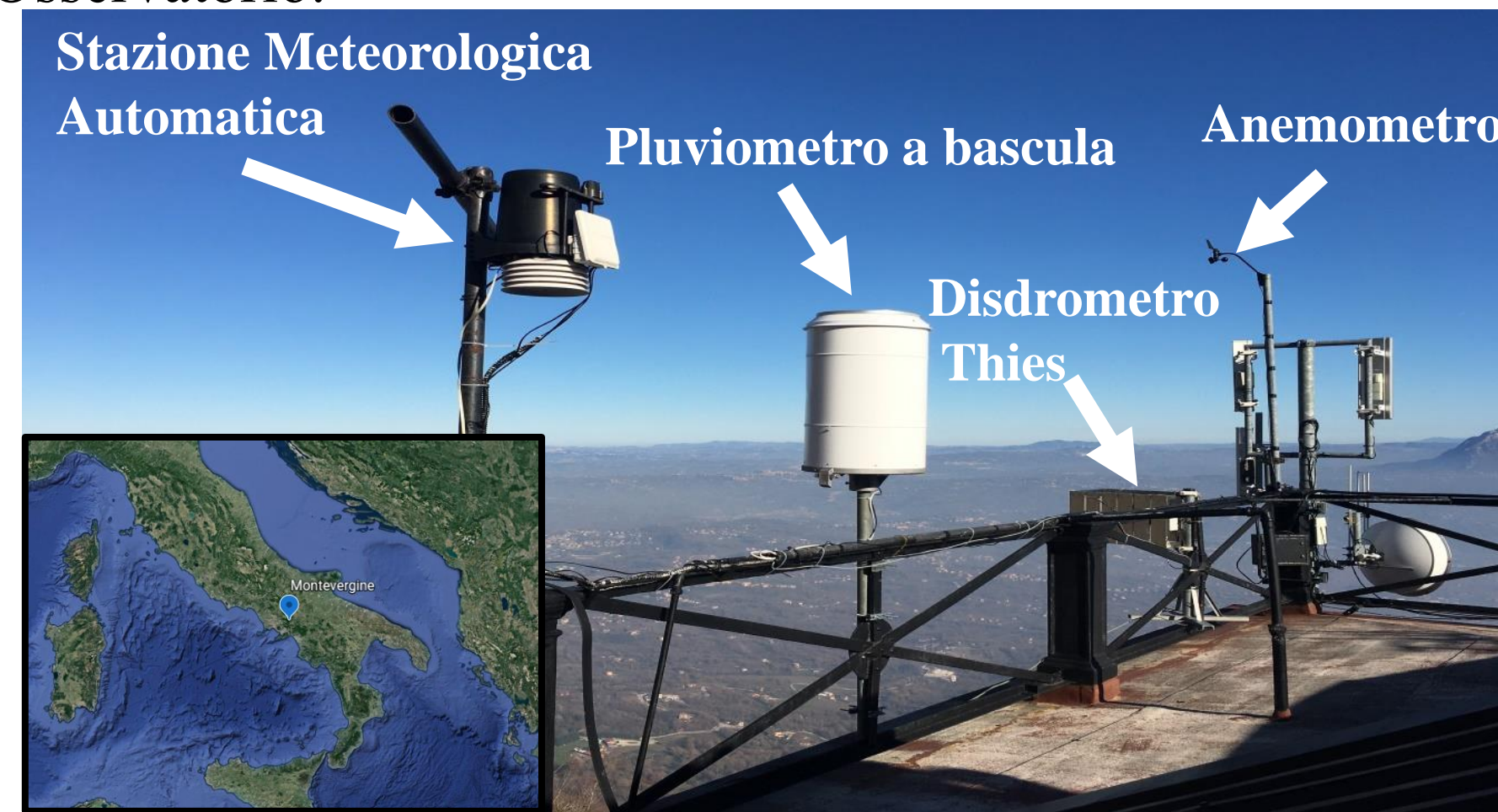


## 1. Introduzione

Il monitoraggio delle precipitazioni riveste un ruolo fondamentale in numerosi campi e applicazioni, come ad esempio l'erosione del suolo, l'agricoltura e la gestione della viabilità. Questo studio si pone l'obiettivo di valutare le performance di un disdrometro laser (Thies Clima) mediante l'analisi delle misure acquisite presso un sito di monitoraggio appenninico localizzato nel Sud Italia (Osservatorio di Montevergine, Fig. 1).

Le misure disdrometriche sono state confrontate con quelle raccolte da un pluviometro a bascula (sensore FAK010AA della MTX), adoperato come riferimento, in termini di quantità di pioggia e intensità media. I dati disdrometrici sono stati opportunamente filtrati, con l'intento di minimizzare gli errori di campionamento e di rimuovere le classi di velocità-diametro spurie (Kathiravelu et al. 2016). E' stata effettuata, infine, un'analisi preliminare dell'impatto del vento sulle misure disdrometriche, adoperando i dati anemometrici misurati sulla terrazza dell'Osservatorio.



**Fig. 1** Strumentazione meteorologica in esercizio sulla terrazza dell'Osservatorio di Montevergine: stazione automatica (temperatura, umidità, radiazione solare e pressione), pluviometro a bascula, disdrometro Thies e anemometro a tre coppe. Il pannello in basso a sinistra mostra la posizione geografica dell'Osservatorio (LAT = 40.936502, LON = 14.72915, 1280 m slm).

## 2. Dati e metodi

Il dataset a cui si è fatto ricorso comprende 35 eventi di pioggia registrati tra dicembre 2019 e settembre 2020.

- I dati disdrometrici grezzi sono stati oggetto di una procedura di filtraggio "ad-hoc", con l'obiettivo di rimuovere le misurazioni spurie dovute all'impatto del vento, alle particelle marginali e all'effetto di *splashing*. A valle di tale procedura, è stata ottenuta una nuova versione, filtrata, del dataset originario.

- Le misure disdrometriche di quantità e intensità delle precipitazioni sono state ottenute, a partire dagli spettri grezzi e filtrati, tramite le relazioni suggerite dalla letteratura (e.g. Angulo Martinez et al. 2018).

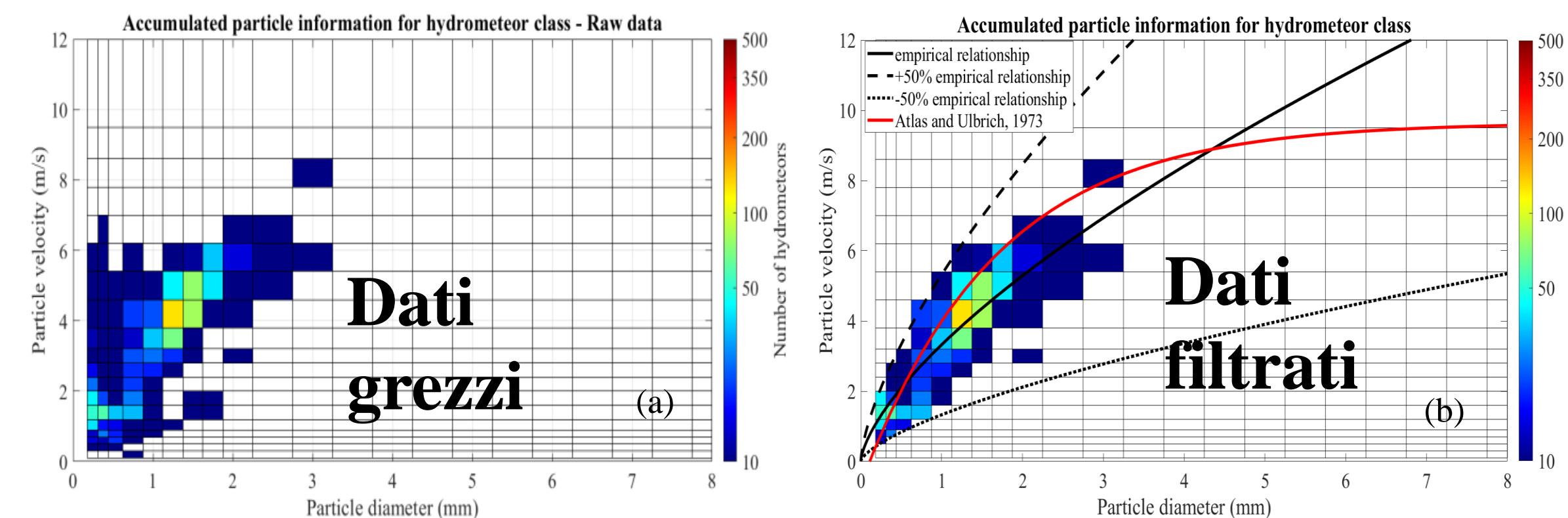
- Il confronto tra i dati disdrometrici e pluviometrici è stato effettuato aggregando le misurazioni su un intervallo temporale di 10 minuti, per evitare errori dovuti a sfasamenti temporali tra i due strumenti.

- I risultati sono stati valutati in funzione di due variabili, l'intensità (*rain rate*) e la quantità di pioggia (*accumulated rainfall*), e quantificati mediante l'applicazione di noti indicatori statistici.

- Infine, sono stati analizzati gli effetti del vento sulle misure disdrometriche, prendendo in considerazione solo gli eventi di pioggia debole ( $\leq 2.5 \text{ mm h}^{-1}$ ). Gli spettri disdrometrici, acquisiti con passo temporale di un minuto, sono stati aggregati in funzione di varie classi di velocità del vento, comprese fra calma di vento ( $0-0.5 \text{ m s}^{-1}$ ) e vento teso ( $8-10 \text{ m s}^{-1}$ ). Per ciascuna classe, è stata calcolata la percentuale di classi di idrometeore la cui velocità differisce in maniera significativa ( $\pm 50\%$ ) dal valore teorico indicato dalla letteratura (Atlas et al., 1973).

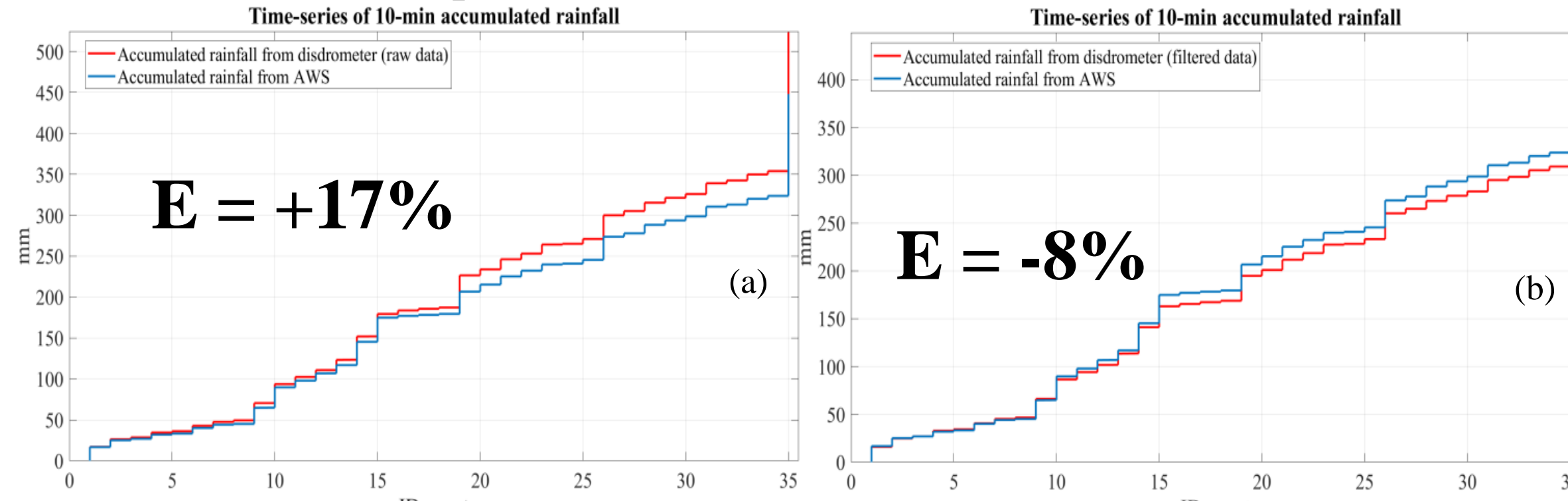
## 3. Risultati

- Al fine di rimuovere classi spurie di velocità-diametro è stata introdotta una procedura di filtraggio. Un confronto tra i dati grezzi e quelli filtrati acquisiti dal disdrometro in un determinato istante è illustrato in Fig. 2.



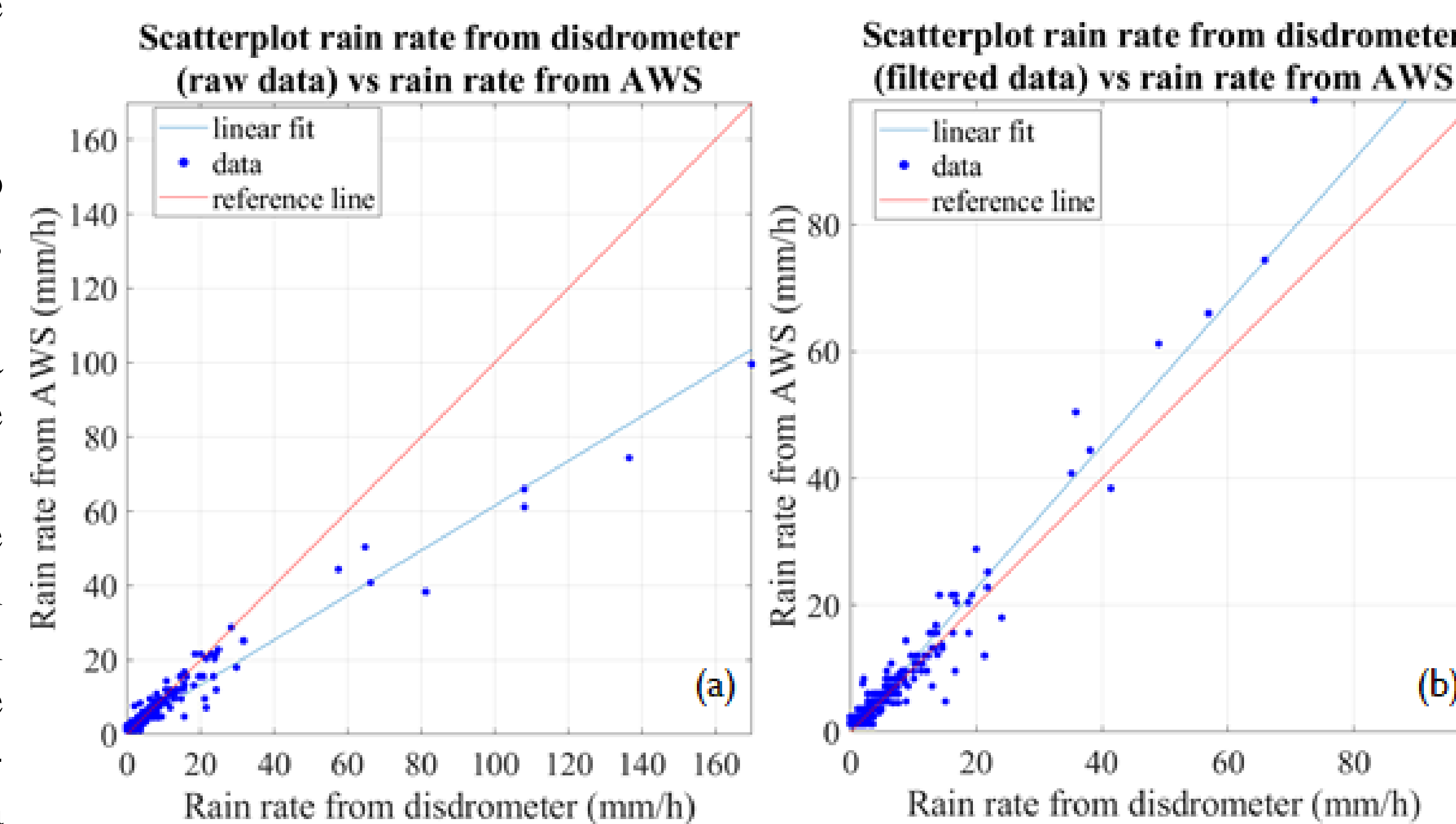
**Fig. 2** Esempio del processo di filtraggio di uno spettro velocità-diametro. In (a) sono mostrati i dati grezzi (*raw data*), in (b) quelli filtrati (*filtered data*). Nel pannello (b) è raffigurata, in colore rosso, la relazione teorica di Atlas et al. (1973), in colore nero la relazione empirica «ad hoc» calcolata sulle misure filtrate. La curva tratteggiata e quella puntiforme rappresentano i limiti ( $\pm 50\%$ ) della regione prossima alla curva empirica. La scala di colori indica il numero di particelle in ciascuna classe di diametro-velocità.

- In Fig. 3 è riportato un confronto, in termini di precipitazione cumulata nel tempo (mm), tra il pluviometro FAK010AA (curva blu) e il disdrometro (curva rossa), nello scenario in cui si adoperano le misure disdrometriche grezze (Fig. 3a) ed in quello in cui si usano le misure filtrate (Fig. 3b). Il processo di filtraggio incrementa l'accordo tra i due strumenti del 9% su tutto il periodo esaminato, come evidenziato dal valore dell'errore percentuale (E).



**Fig. 3** Confronto tra dati disdrometrici e dati pluviometrici in termini di precipitazione cumulata (mm) su tutto il periodo di indagine. Nel pannello (a) sono mostrati i risultati ottenuti tramite l'impiego di dati disdrometrici grezzi, in (b) quelli conseguiti tramite i dati filtrati.

La Fig. 4 mostra il diagramma a dispersione delle misurazioni di *rain rate* effettuate dai due strumenti. Si noti l'impatto positivo del filtraggio dei dati disdrometrici (Fig. 4b), come testimoniato dalla pendenza della retta di regressione lineare. Le discrepanze più significative sono state riscontrate per valori di intensità di pioggia maggiori di  $20 \text{ mm h}^{-1}$ .



**Fig. 4** Diagramma a dispersione delle misurazioni di intensità di pioggia ( $\text{mm h}^{-1}$ ), aggregate su 10 min, registrate dal disdrometro Thies (dati grezzi (a), dati filtrati (b)) e dal pluviometro a bascula FAK010AA. In entrambi i pannelli è riportato il fit lineare, la cui pendenza assume un valore di 0.6 in (a) e di 1.13 in (b), con l'intento di evidenziare gli errori sistematici.

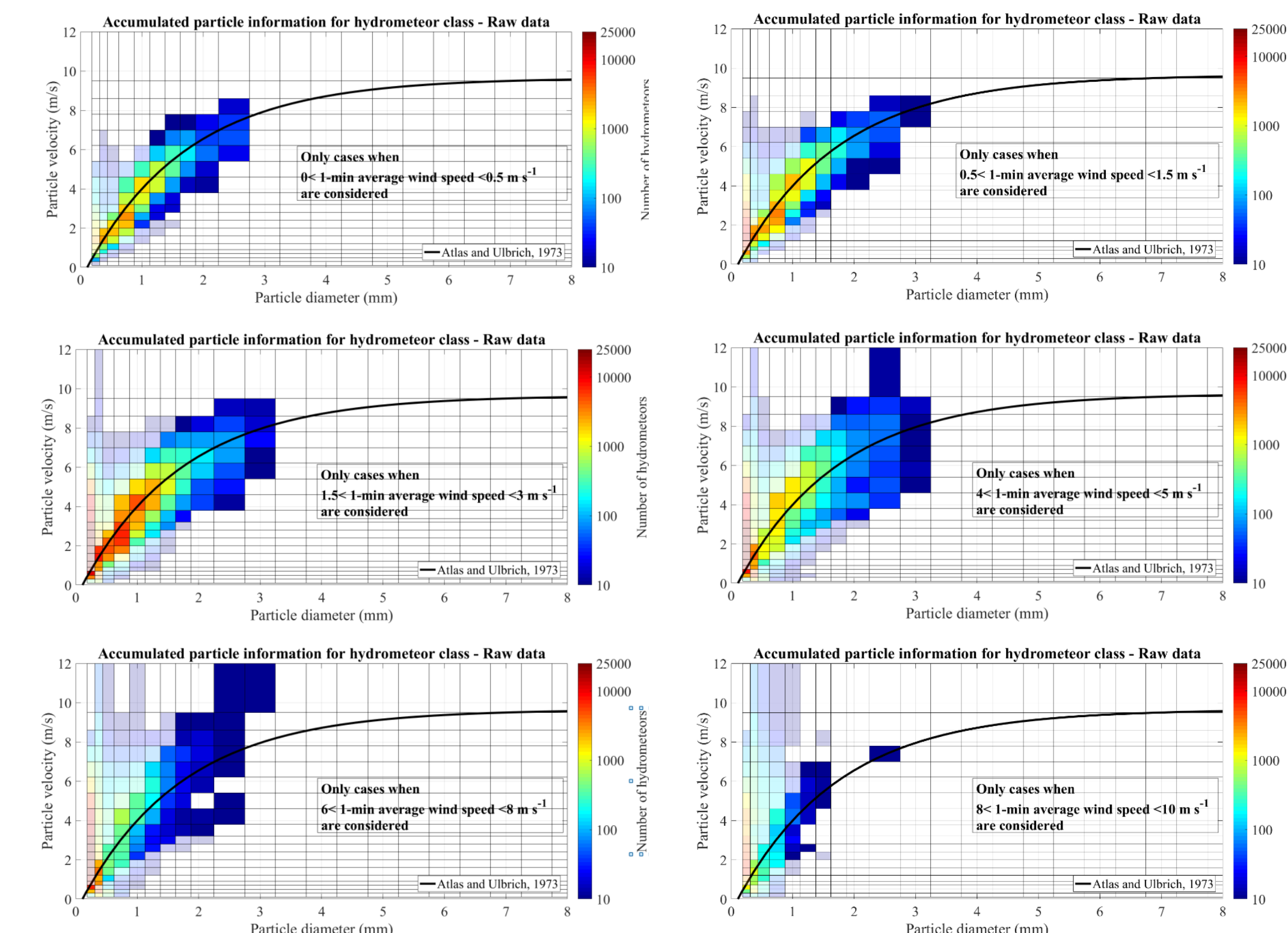
- In seguito all'introduzione della procedura di filtraggio, si osserva una riduzione del valore medio e della deviazione standard degli indicatori statistici adoperati in questo studio (Tab. 1).

Indicatore statistico	Dati grezzi		Dati filtrati	
	Media ( $\text{mm h}^{-1}$ )	Dev. standard ( $\text{mm h}^{-1}$ )	Media ( $\text{mm h}^{-1}$ )	Dev. standard ( $\text{mm h}^{-1}$ )
Mean Absolute Error (MAE)	1.17	1.13	0.95	0.57
BIAS	0.3	1.14	-0.3	0.51
Root Mean Square Error (RMSE)	1.96	2.9	1.29	0.98

**Tabella 1** Sono riportati il valore medio e la deviazione standard corrispondente a ciascun indicatore considerando i dati disdrometrici grezzi e filtrati.

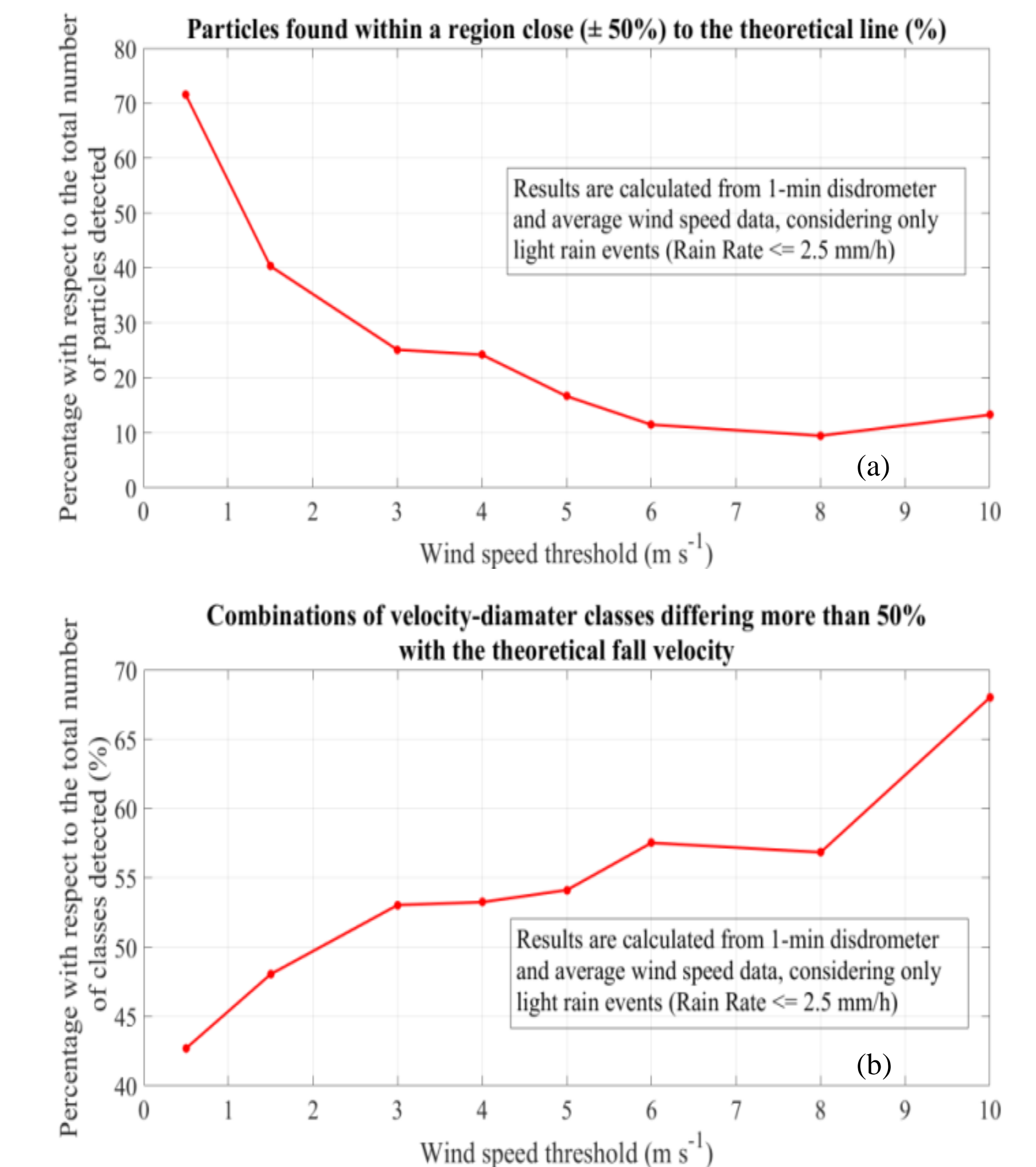
## 4. Velocità del vento e spettro disdrometrico

- La Fig. 5 mostra, in maniera qualitativa, l'impatto della velocità del vento sullo spettro disdrometrico. Nella figura è rappresentato, per differenti classi di velocità del vento, lo spettro velocità-diametro, ottenuto aggregando tutti gli istanti appartenenti ad una specifica classe. Le combinazioni che si discostano più del 50% dal corrispettivo valore teorico sono rappresentate in trasparenza. Si può notare come il numero di classi anomale di velocità-diametro aumenti notevolmente con l'intensificarsi della velocità del vento.



**Fig. 5** Spettro Thies aggregato corrispondente a diverse classi di velocità del vento, comprese tra calma di vento ( $0-0.5 \text{ m s}^{-1}$ ) e vento teso ( $8-10 \text{ m s}^{-1}$ ). La scala di colori indica il numero di particelle appartenenti a ciascuna classe velocità-diametro; gli scostamenti maggiori del 50% dal corrispettivo valore teorico sono rappresentati in trasparenza.

- La percentuale di classi anomale assume valori che vanno dal 43% per gli eventi di calma di vento al 70% in caso di velocità del vento maggiore di  $8 \text{ m s}^{-1}$  (Fig. 6a). Inoltre, come mostrato nella Fig. 6b, circa il 70% delle idrometeore è classificato correttamente quando la velocità del vento assume valori compresi tra 0 e  $0.5 \text{ m s}^{-1}$ . Tale percentuale diminuisce drasticamente con l'intensificarsi del vento, assumendo un valore inferiore al 20% quando la velocità del vento supera i  $4 \text{ m s}^{-1}$ .



**Fig. 6** Quantificazione dell'impatto del vento sullo spettro Thies. (a) Combinazioni di classi velocità-diametro che differiscono più del 50% dal corrispondente valore teorico della velocità di caduta (Atlas et al., 1973). (b) Particelle comprese nell'intervallo ( $\pm 50\%$ ) del corrispettivo valore teorico (Atlas et al., 1973).

## 5. Conclusioni

- I benefici introdotti dalla procedura di filtraggio sono ben evidenziati dai valori assunti da tutti gli indicatori statistici considerati. Più precisamente, si può osservare un significativo miglioramento nei valori del MAE (da  $1.17$  a  $0.95 \text{ mm h}^{-1}$ ), del RMSE (da  $1.96$  a  $1.29 \text{ mm h}^{-1}$ ) e di E (da  $+17\%$  a  $-8\%$ ).
- Il disdrometro Thies sottostima quasi sistematicamente la quantità di pioggia, in particolar modo quando l'intensità delle precipitazioni risulta superiore a  $20 \text{ mm h}^{-1}$ .
- Il numero di classi e di particelle anomale tende ad aumentare con l'intensificarsi della velocità del vento.
- L'analisi rivela che, nella condizione in cui la velocità del vento superi i  $4 \text{ m s}^{-1}$ , solo il 20% circa delle idrometeore rientra nella regione dello spettro velocità-diametro caratteristica degli eventi di pioggia.

## 6. Prospettive future

Gli studi futuri mirano, innanzitutto, ad irrobustire i risultati fino ad ora ottenuti, mediante l'analisi di eventi precipitativi caratterizzati da idrometeore solide (neve, graupel). Inoltre, analisi aggiuntive riguarderanno l'impatto del vento sullo spettro in relazione alla distribuzione dimensionale delle particelle.

## Bibliografia

Atlas D, Ulbrich C W, Srivastava R C and Sekhon R S (1973) Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. Rev. Geophys. Space Phys. 11:1-35. doi:10.1029/RG011i001p00001.

Angulo-Martínez M, Beguería S, Latorre, B and Fernández-Raga M (2018) Comparison of precipitation measurements by OTT Parsivel Parsivel<sup>2</sup> and Thies LPM optical disdrometers. Hydrology and Earth System Sciences 22(5):2811-2837. doi:10.5194/hess-22-2811-2018.

Kathiravelu G, Lucke T and Nicholas P (2016) Rain Drop Measurement Techniques. A Review, Water 8(1):29. doi. 10.3390/w8010029.