

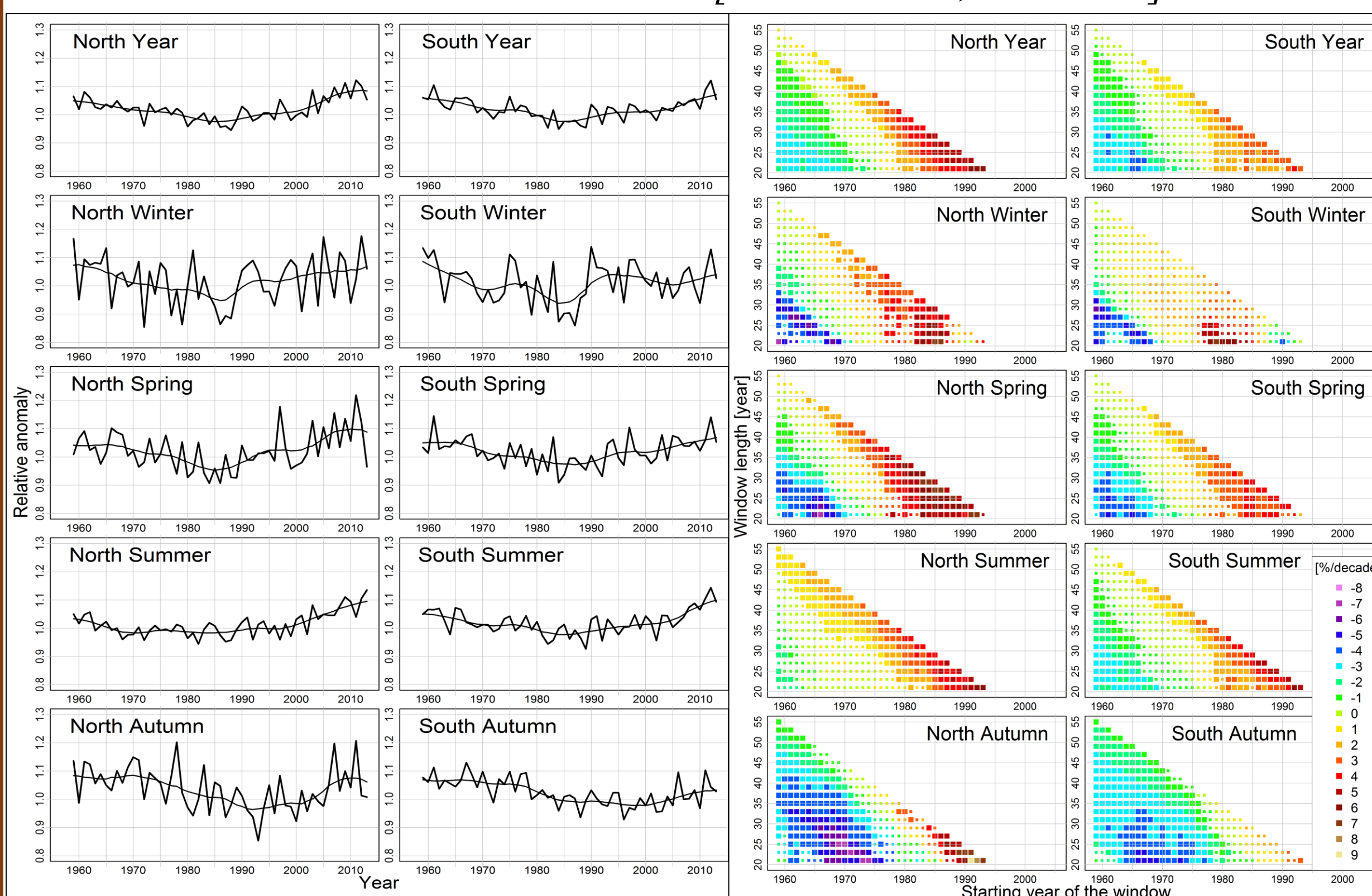
Veronica Manara¹ (veronica.manara@unimi.it), Michele Brunetti², Maurizio Maugeri¹

¹Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali, Università degli Studi di Milano, via Celoria 10, 20133, Milano, Italia

²Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima ISAC-CNR, via Gobetti 101, 40129, Bologna, Italia

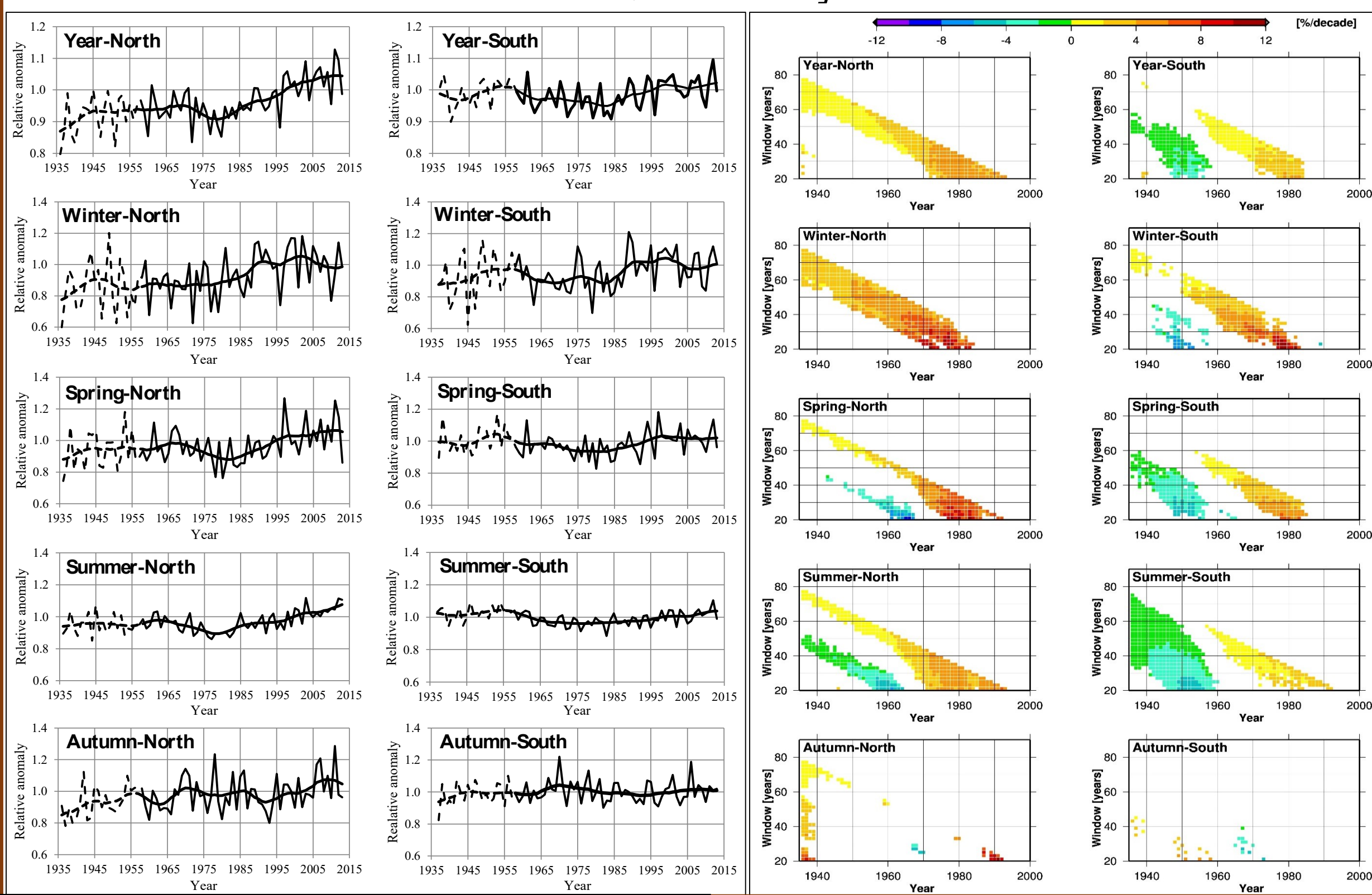
- La frazione di radiazione solare che raggiunge la superficie della Terra (E_{gl}) è la principale fonte di energia per il sistema climatico.
- Le incertezze nella conoscenza della distribuzione spaziale e dell'andamento temporale di E_{gl} sono legate alla mancanza di una piena conoscenza dei meccanismi che influenzano E_{gl} , soprattutto legati a una limitata disponibilità di dati.
- Recentemente, sono stati creati per il territorio italiano dei database di E_{gl} (1959-2016), eliofania (SD) (1936-2013), visibilità (1951-2017) e nuvolosità (TCC) (1951-2018) con lo scopo di studiare come E_{gl} sia cambiata negli ultimi decenni e investigare quale frazione di questa variazione sia dovuta ad una variazione delle concentrazioni di aerosol in atmosfera e quale ad una variazione della quantità e tipologia di nubi.

Serie di anomalia relativa di E_{gl} (rispetto al periodo 1976-2005) e running trend analysis (quadri grandi per p -value ≤ 0.1 ; quadri piccoli per p -value > 0.1) in CONDIZIONI DI ALL-SKY [Manara et al., 2016 ACP]

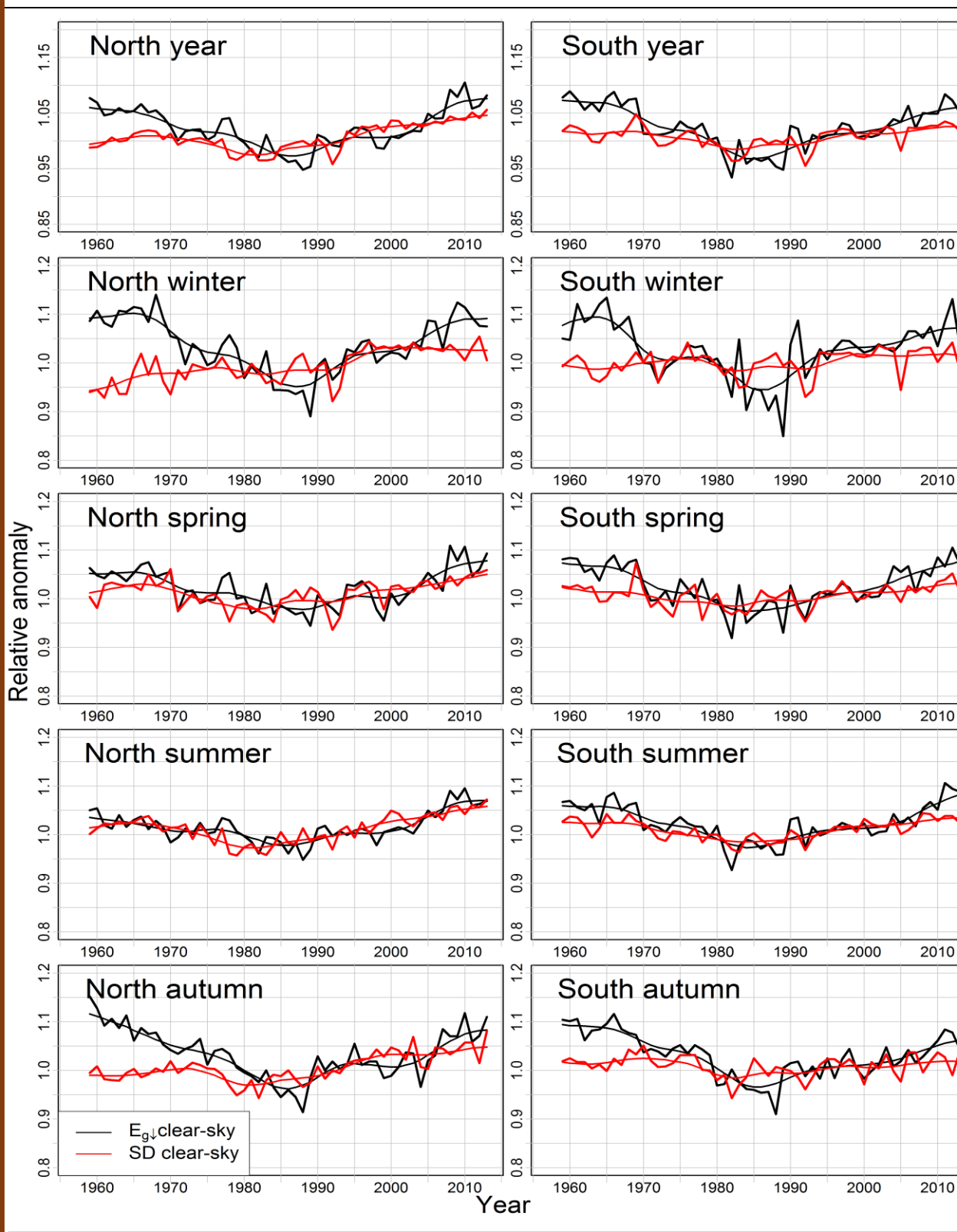


SD (arco di tempo durante il quale la radiazione solare diretta è superiore a 120 Wm^{-2}) variabile proxy per E_{gl} . Le serie di SD coprono un periodo di tempo più lungo rispetto a quelle di E_{gl} .

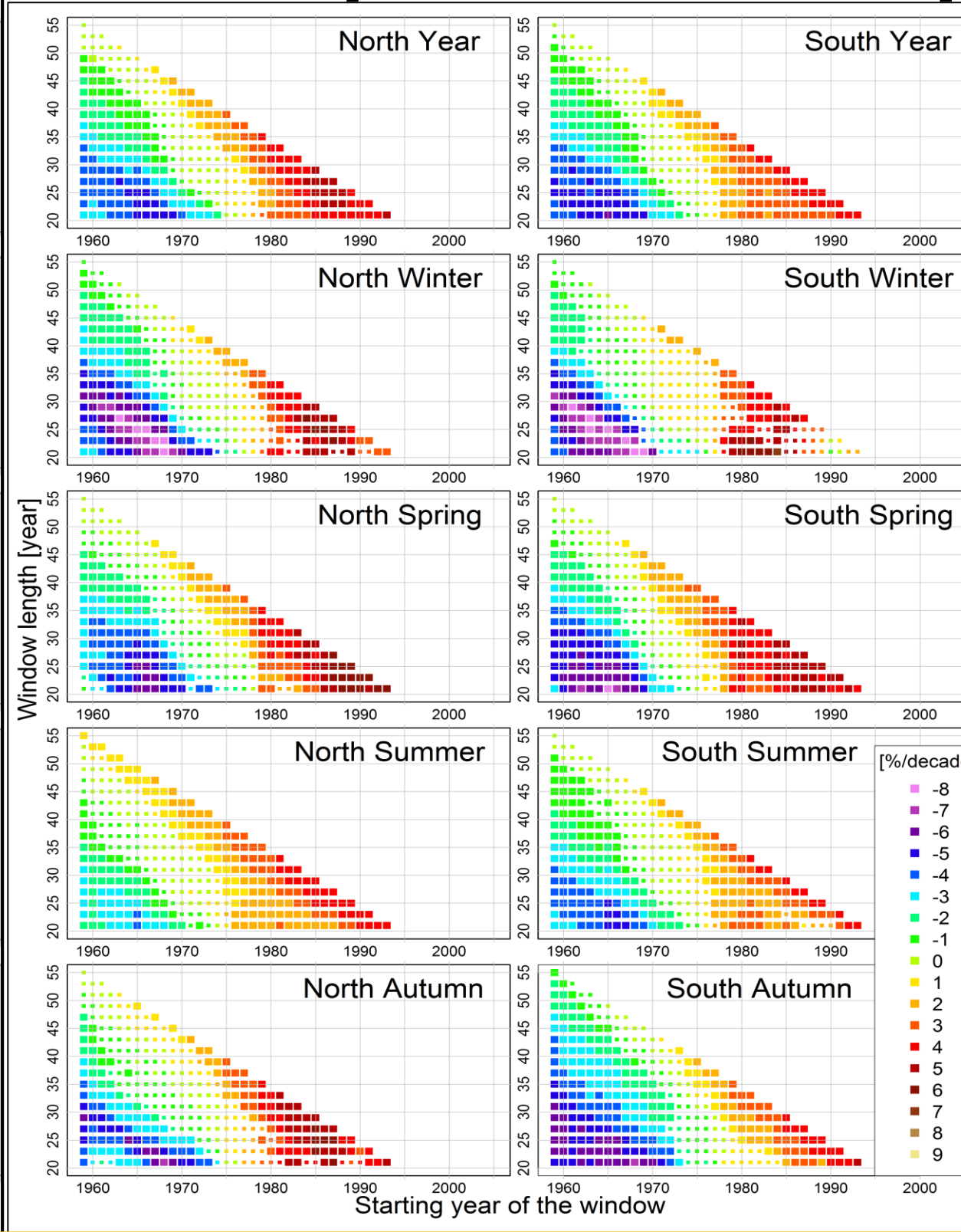
Serie di anomalia relativa di SD (rispetto al periodo 1984-2013) e running trend analysis (per trend con p -value ≤ 0.1) in CONDIZIONI DI ALL-SKY [Manara et al., 2015 JGR]



Confronto tra le serie di anomalia relativa di SD e E_{gl} (rispetto al periodo 1976-2005) in CONDIZIONI DI CLEAR-SKY [Manara et al., 2017 JGR]

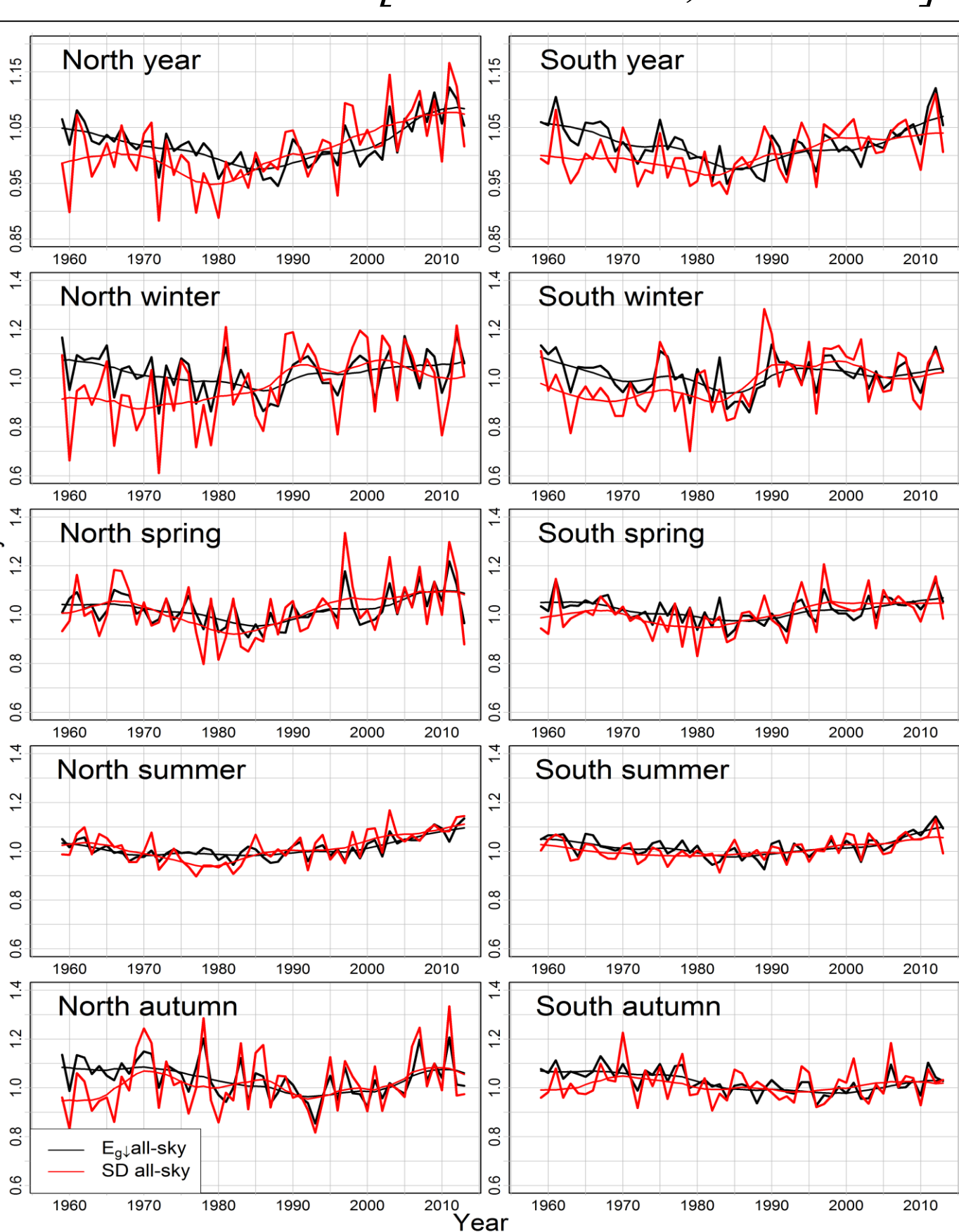


Running trend analysis per E_{gl} (quadri grandi per p -value ≤ 0.1 ; quadri piccoli per p -value > 0.1) in CONDIZIONI DI CLEAR-SKY [Manara et al., 2016 ACP]



- I trend osservati sono in accordo con le variazioni delle concentrazioni di aerosol osservate nel periodo preso in considerazione suggerendo un loro significativo ruolo in condizioni di clear-sky, tuttavia il fatto che l'intensità dei trend osservati cambia dopo la rimozione delle nubi suggerisce che le nubi contribuiscono in maniera significativa alla variabilità di E_{gl} in condizioni di all-sky.
- La decrescita osservata durante il "Global dimming" in primavera, estate e autunno è più intensa nella regione Sud probabilmente dovuta a un maggiore contributo degli aerosol di origine naturale (e.g. polvere sahariana) mentre è più intensa durante l'inverno nella regione Nord probabilmente dovuta a un maggiore contributo degli aerosol di origine antropogenica (e.g. solfati, balck carbon, PM).

Confronto tra le serie di anomalia relativa di SD e E_{gl} (rispetto al periodo 1976-2005) in CONDIZIONI DI ALL-SKY [Manara et al., 2017 JGR]



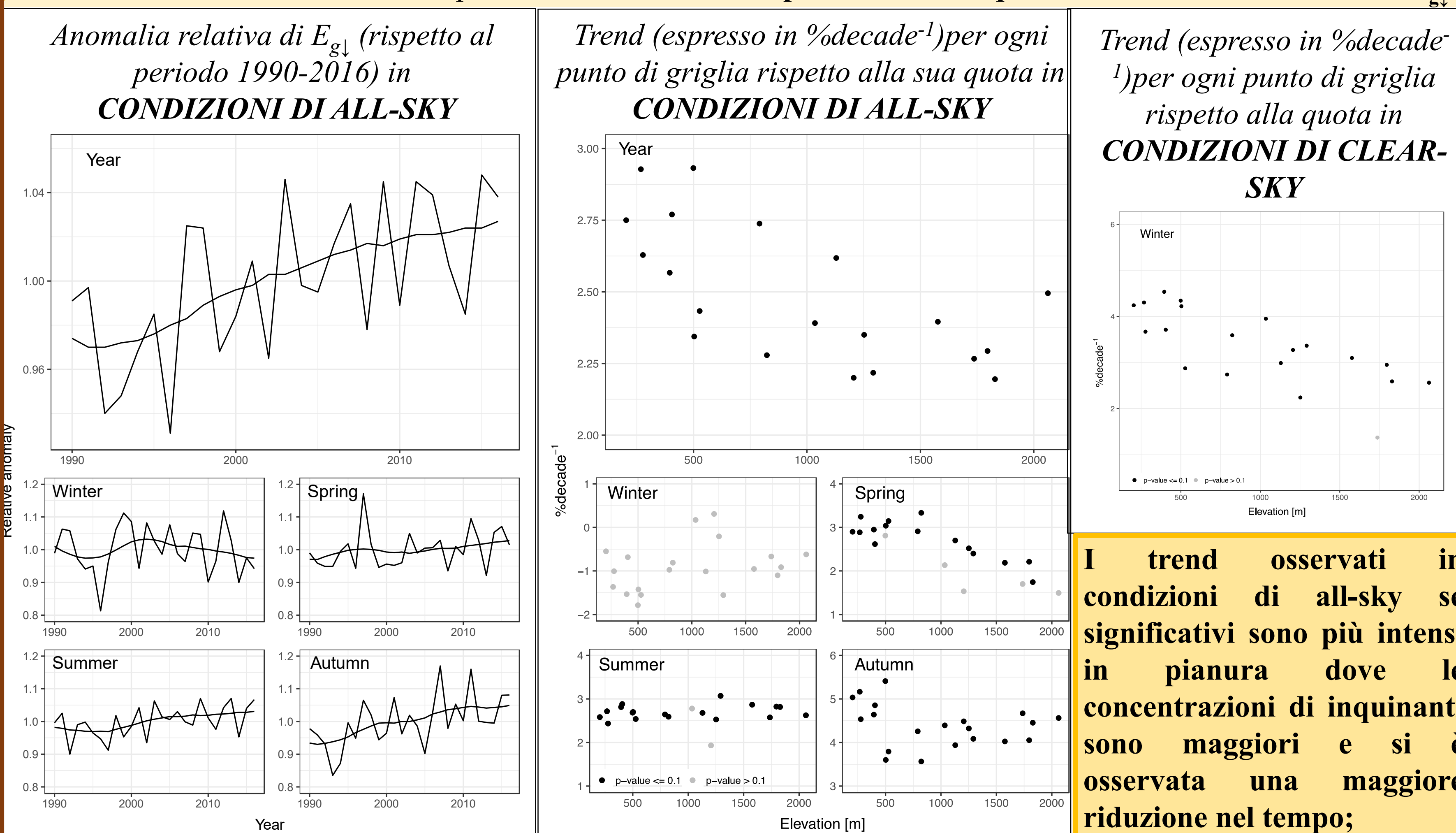
- Le serie di SD mostrano una variabilità interannuale maggiore di quelle di E_{gl} , dovuta al legame della variabilità intragiornaliera con la nuvolosità maggiore per SD che per E_{gl} ;
- Le serie di SD e E_{gl} mostrano una decrescita/crescita fino agli/dagli anni '80 detta "Global dimming"/"Brightening period";
- Le serie di SD mostrano una più breve e meno intensa decrescita durante il "Global dimming" rispetto a quella di E_{gl} , mentre l'accordo è migliore durante il "Brightening period" dove entrambe le variabili mostrano un comparabile trend di crescita;
- L'inverno è la stagione durante la quale le due variabili mostrano le maggiori differenze fino alla metà degli anni '80 dove SD non mostra un trend decrescente diversamente da E_{gl} .

Condizioni di clear-sky al fine di eliminare il contributo delle nubi

- La variabilità interannuale è minore in condizioni di clear-sky che in condizioni di all-sky;
- L'accordo tra la variabilità e i trend osservati per SD e E_{gl} dipende dalla regione, dalla stagione e dal periodo considerato;
- Le serie mostrano una decrescita durante il "Global dimming" più intenso per E_{gl} che per SD. L'accordo tra le due variabili è maggiore durante il "Brightening period" dove entrambe le variabili mostrano un trend positivo sebbene E_{gl} presenti valori maggiori;
- L'accordo è maggiore durante l'estate e rappresenta l'unico caso in cui SD mostra una decrescita più intensa durante il periodo di "Global dimming" rispetto a E_{gl} .

Andamento di E_{gl} al variare della quota (dataset di ARPA Piemonte) [Manara et al., 2019 TAAC]

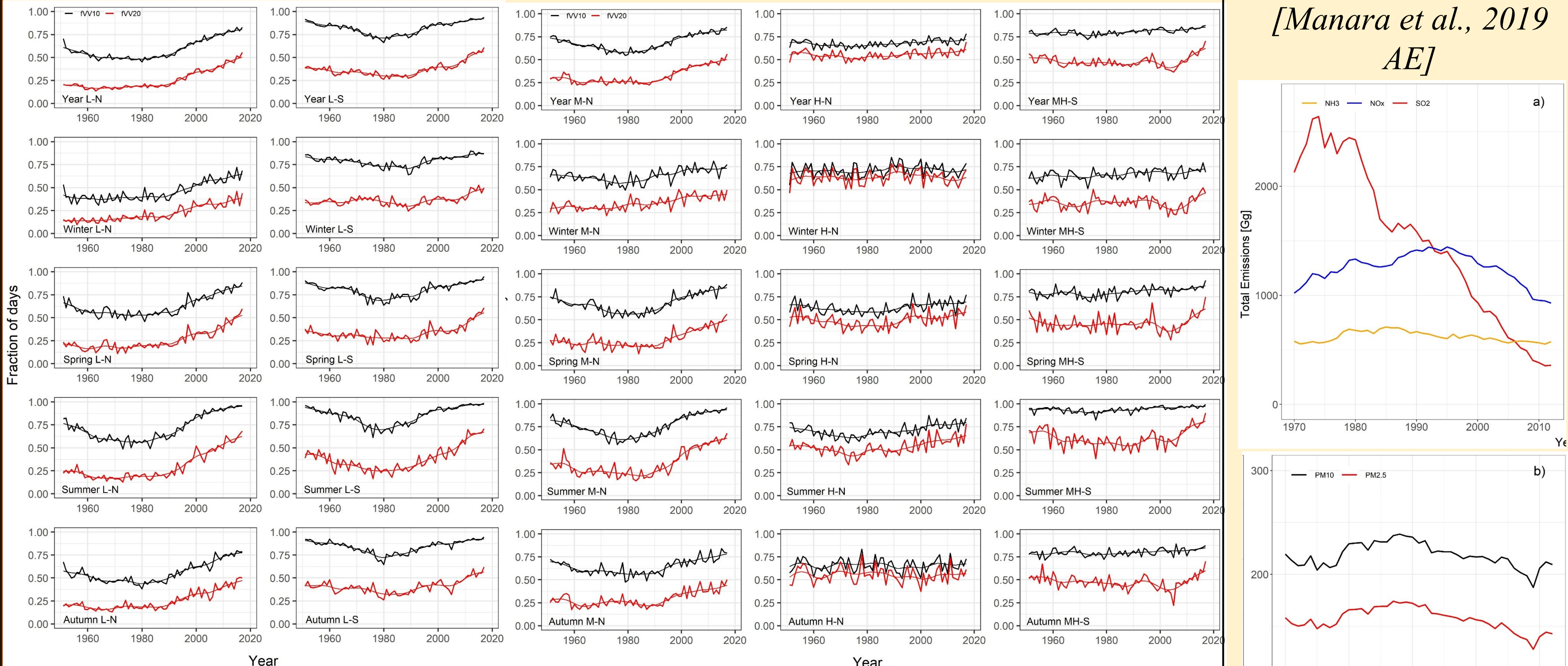
Un elevato numero di stazioni ha permesso di studiare la dipendenza dalla quota dell'intensità del trend di E_{gl}



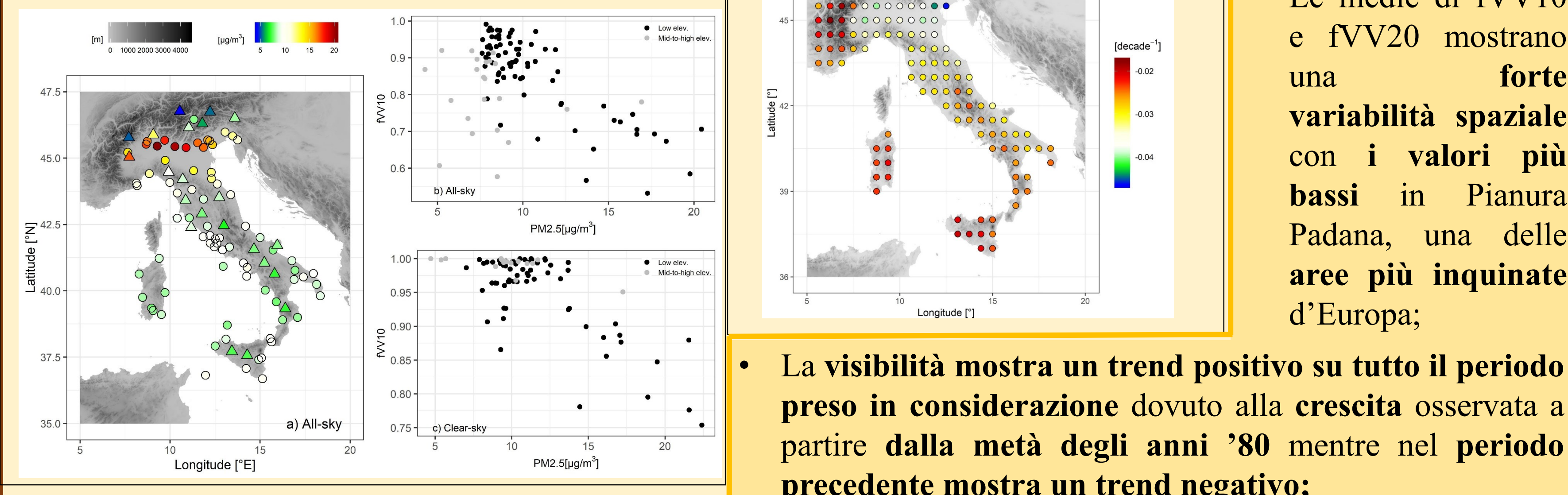
- I trend osservati in condizioni di clear-sky sono meno intensi di quelli osservati in condizioni di all-sky con la sola eccezione dell'inverno dove il trend in condizioni di all-sky non è significativo mentre in condizioni di clear-sky è positivo e significativo.
- In condizioni di clear-sky diventa evidente la dipendenza dalla quota dell'intensità del trend di E_{gl} anche in l'inverno.
- In inverno l'altezza del boundary layer è limitata riducendo il trasporto di inquinanti dalle regioni a bassa quota alle regioni ad alta quota determinando maggiori differenze nei trend osservati tra pianura e montagna;
- In estate l'altezza del boundary layer è maggiore portando ad avere una maggiore redistribuzione degli inquinanti e quindi trend di simile intensità tra pianura e montagna.

Mancando lunghe serie di dati di concentrazioni di aerosol in atmosfera, la visibilità può essere usata come variabile proxy per capire come è cambiata la qualità dell'aria negli ultimi decenni [Manara et al., 2019 AE]

Frazione di giorni con visibilità maggiore di 10 (fVV10) e 20km (fVV20) per le aree a bassa (L), media (M) e alta (H) quota [Manara et al., 2019 AE]



(a) Concentrazioni medie annue di $PM_{2.5}$ calcolate sul periodo 2010-2017; (b) Media annua di fVV10 rispetto alle concentrazioni di $PM_{2.5}$ in condizioni di all-sky; (c) come (b) ma in condizioni di clear-sky [Manara et al., 2019 AE]



- Le medie di fVV10 e fVV20 mostrano una forte variabilità spaziale con i valori più bassi in Pianura Padana, una delle aree più inquinate d'Europa;
- La visibilità mostra un trend positivo su tutto il periodo preso in considerazione dovuto alla crescita osservata a partire dalla metà degli anni '80 mentre nel periodo precedente mostra un trend negativo;
- Passando dalle aree a bassa quota alle aree ad alta quota i trend diventano meno intensi;
- I trend osservati non variano rimuovendo i giorni con elevata umidità o considerando solo i giorni sereni suggerendo che la variabilità della visibilità dipende dalla variazione delle concentrazioni di aerosol in atmosfera;
- Le concentrazioni di aerosol ottenute dai modelli mostrano una distribuzione spaziale simile a quella osservata per la visibilità dove i valori inferiori che si osservano in Pianura Padana o nei principali centri urbani sono associati ad elevati valori di PM.
- La crescita osservata per la visibilità a partire dagli anni '80 è associata a una forte decrescita nell'AOD (aerosol optical depth) più forte per basse quote che per alte quote.
- L'andamento osservato per le emissioni totali annue è analogo a quello della visibilità con un aumento fino agli anni '80 e una diminuzione nel periodo successivo.