

Analisi della variabilità pluviometrica estiva osservata nella Regione Campania nel trentennio 1991-2020

Autore: Gianroberto Zingarofalo¹, gianroberto.zingarofalo@studenti.unisalento.it

Supervisore: Prof. Vincenzo Capozzi²

¹ Università del Salento, ² Università degli studi di Napoli "Parthenope"

Abstract

L'area del Mediterraneo, come è noto, è una delle più vulnerabili al cambiamento climatico, i cui effetti si sono tradotti, negli ultimi decenni, in un incremento della frequenza di eventi meteorologici estremi, quali ondate di calore e periodi siccitosi, nonché di fenomeni calamitosi (incendi boschivi e alluvioni). In questo contesto, lo studio della variabilità spaziale e temporale dei fenomeni precipitativi è divenuto argomento di grande interesse, in virtù degli impatti che questi hanno sugli ecosistemi, sull'agricoltura, sull'approvvigionamento idrico e sul benessere umano. In questo lavoro, sono state analizzate le precipitazioni estive (giugno-luglio-agosto) registrate nell'ultimo trentennio (1991-2020) nella Regione Campania, un territorio molto complesso e variegato sotto il profilo orografico, nonché contraddistinto da un delicato tessuto socio-economico particolarmente sensibile alla variabilità delle condizioni meteo-climatiche. Al fine di caratterizzare in maniera esaustiva il regime pluviometrico dell'area di interesse, si è fatto ricorso ad una serie di indicatori che descrivono i fenomeni precipitativi in termini quantitativi, di frequenza di occorrenza e di eventi estremi. Dall'analisi, effettuata a valle di una suddivisione del territorio campano in 9 sub-regioni, ciascuna afferente ad un diverso contesto morfologico e climatico, è emerso un generale incremento dei quantitativi di pioggia osservati, di circa +13 mm /10 anni se si considera l'intero territorio regionale. Tale risultato, sebbene non statisticamente significativo, è in accordo con le evidenze mostrate da studi pregressi. Inoltre, è stato riscontrato un aumento degli eventi di pioggia intensi nel mese di giugno nel settore pre-appenninico occidentale.

KEYWORDS: *precipitazioni estive; cambiamento climatico; Campania; eventi estremi*

1. Introduzione

Il clima mediterraneo è caratterizzato, per sua definizione, da inverni relativamente miti ed umidi e da estati piuttosto calde e secche; tuttavia, nelle regioni con questo clima vi sono grandi variazioni nella dinamica delle precipitazioni atmosferiche, spesso frutto di complesse interazioni tra fattori meteorologici alla scala sinottica e fattori alla mesoscala. In Italia, sono stati condotti numerosi studi e indagini basati principalmente su test non-parametrici poiché più adatti a trattare dati non distribuiti normalmente in idro-meteorologia (Onyutha, 2016), utilizzando serie temporali di precipitazioni di lungo periodo: tali studi hanno rilevato un trend decrescente delle precipitazioni, anche se raramente significativo (Brunetti *et al.*, 2006). Le regioni in cui sono state osservate queste tendenze si trovano nell'Italia meridionale e sono: Basilicata (Piccarreta *et al.*, 2004), Sicilia (Liuzzo *et al.*, 2016) e Calabria (Caloiero *et al.*, 2015). Degno di menzione, tra i lavori pregressi, è lo studio condotto da (Longobardi e Villani, 2010), focalizzato su un'area del Meridione d'Italia di circa 25.000 km² comprendente anche la Campania: in questo studio, sono stati considerati i totali mensili di una lunga serie temporale che ricopre quasi l'intero secolo scorso (1918-1999) e si è osservata una riduzione delle precipitazioni annuali di circa 280 mm, ovvero +35 mm/10 anni; al contrario, è stata riscontrata una tendenza positiva per il trimestre estivo.

Nel presente lavoro, partendo, in primis, proprio da quanto emerso dalla letteratura pregressa, è stata condotta un'indagine sulla variabilità pluviometrica osservata nella stagione estiva (giugno-luglio-agosto) nella regione Campania negli ultimi 30 anni (1991-2020). Le motivazioni che hanno spinto a intraprendere tale attività di ricerca risiedono anche nelle particolari dinamiche che contraddistinguono la variabilità pluviometrica estiva nei settori centrali del Mediterraneo, spesso molto differenti da quelle riscontrabili nella restante parte dell'anno. Come è noto, infatti, gli apporti precipitativi osservati nel trimestre estivo sono sovente frutto di fenomeni convettivi locali (temporali di calore), generati da condizioni di forte squilibrio termo-igrometrico tra la bassa e la media-alta troposfera. Sebbene sia necessario il concorso di determinati fattori afferenti alla scala sinottica, spesso riconducibili a circolazioni a vortice (*cut-off*, o, più frequentemente *upper level lows*),

siffatti fenomeni sono incentivati soprattutto da fattori alla mesoscala, quali ad esempio le catene montuose (che forzano i moti ascensionali dell'aria) e le circolazioni di brezza diurne, in grado di sospingere verso l'entroterra aria relativamente calda e umida. È opportuno inoltre evidenziare che i fenomeni precipitativi estivi, essendo, come poc'anzi accennato, di natura prevalentemente convettiva, sono in grado di riversare al suolo in archi temporali molto ristretti ingenti quantitativi d'acqua, che esercitano un notevole impatto sul suolo, dai risvolti spesso infausti e negativi, sia laddove lo stesso è fortemente antropizzato sia laddove esso è votato a pratiche agricole.

In questo lavoro, sono stati analizzati i dati pluviometrici giornalieri di 60 stazioni, appartenenti alla rete del Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Campania (periodo 01/06/1991-31/08/1999), alla rete del Centro Funzionale Multirischi di Protezione Civile della Regione Campania (periodo 01/06/2000-31/08/2020) – di seguito Centro Funzionale Campano - e al Servizio Idrografico della Regione Puglia (01/06/1991-31/08/2020). È bene evidenziare che il dataset di cui si dispone include anche le osservazioni di alcune centraline, nello specifico Grazzanise (CE), Capri (NA), Capo Palinuro (SA) e Treviso (AV), appartenenti alla rete del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare; una centralina, quella ubicata presso lo storico osservatorio di Montevergine (AV), gestita dalla omonima Abbazia benedettina in collaborazione con l'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" e, infine, le stazioni di Montefalcone Valfortore e Castelvete Valfortore, entrambe ubicate in Alto Sannio, afferenti alla rete del Servizio Idrografico della Regione Abruzzo. I dati, una volta digitalizzati manualmente su opportuni fogli lavoro, elaborati in Microsoft Excel, sono stati oggetti di indagine tramite alcuni indicatori. Al fine di tenere in debita considerazione la complessa varietà di unità fisiografiche che caratterizza il territorio campano, le stazioni sono state raggruppate in nove differenti sub-regioni. In Fig. 1, si mostrano l'area di studio, la localizzazione delle centraline pluviometriche e, tramite colori differenti, la sub-regione di appartenenza di ciascuna di esse. La Tab. 1 riporta la denominazione di ciascun settore, l'elenco delle stazioni ad esse appartenenti, nonché le coordinate geografiche, il codice identificativo, la quota slm e l'ente di appartenenza di ciascuna di esse.

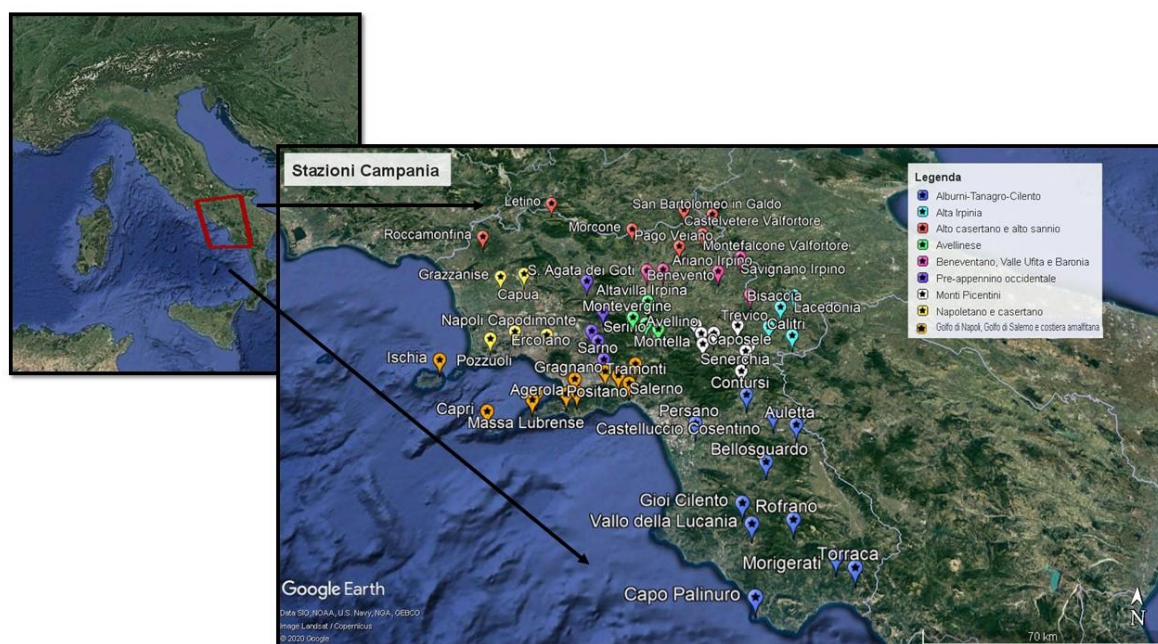


Fig. 1. Mappa dell'Italia che mostra la Regione Campania e la posizione delle 60 stazioni pluviometriche. Ogni colore si riferisce a un determinato settore (vedi legenda). © Google Earth.

Le serie temporali sono state esaminate, per ciascun settore, tramite il test di Mann-Kendall, al fine di rintracciare la presenza di eventuali trend e di verificarne la significatività statistica. Sono state analizzate, inoltre, anche le relazioni tra i quantitativi di pioggia osservati e l'altimetria del territorio.

Il presente lavoro è stato strutturato nel seguente modo. Nella sezione 2, si descrivono le metodologie utilizzate. La sezione 3 è dedicata all'analisi del regime pluviometrico e alla discussione dei principali risultati, mentre la sezione 4 riporta le conclusioni del lavoro e le prospettive future.

Tab. 1. Coordinate geografiche, codice identificativo ed ente di appartenenza delle 60 stazioni pluviometriche utilizzate nel presente studio. Si riporta, inoltre, nella prima colonna, il settore di appartenenza di ciascuna stazione, secondo la strategia di suddivisione del territorio adottata in questo studio.

Sub-regione	Codice ID	Stazioni pluviometriche					
		Località	Codice ID	LAT	LON	ELEV	Ente
Alto casertano e alto Sannio	01	Roccamonfina	11	41.276972	13.968222	590	Centro Funzionale Campano
		Letino	12	41.453916	14.253027	1050	Centro Funzionale Campano
		Morcone	17	41.3352	14.6658	630	Centro Funzionale Campano
		Pago Veiano	21	41.259833	14.897611	259	Centro Funzionale Campano
		San Bartolomeo in Galdo	18	41.422138	15.04075	750	Centro Funzionale Campano
		Montefalcone Valfortore	19	41.32222	15.00233	850	Servizio Idrografico Abruzzo
Napoletano e casertano	02	Castelvetero Valfortore	20	41.441667	14.90233	706	Servizio Idrografico Abruzzo
		Grazzanise	26	41.09272	14.105472	14	Aeronautica Militare
		Capua	27	41.10886	14.20833	24	Centro Funzionale Campano
		Napoli Capodimonte	29	40.861666	14.232583	176	Centro Funzionale Campano
		Pozzuoli	35	40.829805	14.135472	127	Centro Funzionale Campano
		Ercolano	30	40.852555	14.372444	209	Centro Funzionale Campano
Golfo di Napoli, golfo di Salerno e costiera amalfitana	03	Ischia	59	40.740222	13.947194	35	Centro Funzionale Campano
		Capri	60	40.558084	14.20108	160	Aeronautica Militare
		Massa Lubrense	40	40.605416	14.371222	385	Centro Funzionale Campano
		Agerola	42	40.63825	14.545	620	Centro Funzionale Campano
		Positano	41	40.6305	14.503444	455	Centro Funzionale Campano
		Gragnano	32	40.686527	14.526388	185	Centro Funzionale Campano
		Salerno	46	40.6780833	14.751444	13	Centro Funzionale Campano
		Tramonti	43	40.7190277	14.646222	655	Centro Funzionale Campano
		Baronissi	45	40.751277	14.766277	226	Centro Funzionale Campano
		Cava de Tirreni	44	40.705972	14.702305	200	Centro Funzionale Campano
Pre-appennino occidentale	04	Sant'Agata de' Goti	37	41.085572	14.499388	153	Centro Funzionale Campano
		Palma Campania	27	40.87488	14.560944	80	Centro Funzionale Campano
		Avella	28	40.959388	14.595111	193	Centro Funzionale Campano
		Sarno	31	40.835194	14.595194	162	Centro Funzionale Campano
Avellinese	05	Nocera Inferiore	33	40.76408	14.63233	29	Centro Funzionale Campano
		Montevergine	1	40.936502	14.72915	1280	Università "Parthenope"
		Avellino	23	40.91197	14.788358	360	Centro Funzionale Campano
		Altavilla Irpina	24	41.00627	14.78386	352	Centro Funzionale Campano
Beneventano, Valle Ufita e Baronia	06	Serino	34	40.89136	14.844527	327	Centro Funzionale Campano
		Benevento	36	41.142	14.762416	119	Centro Funzionale Campano
		Paduli	22	41.148222	14.834805	130	Centro Funzionale Campano
		Ariano Irpino	16	41.1483	15.0852	678	Centro Funzionale Campano
		Trevico	10	41.05	15.233	1085	Aeronautica Militare
Monti Picentini	07	Savignano Irpino	2	41.21694	15.18333	726	Servizio Idrografico Pugliese
		Montella	13	40.83847	15.039361	515	Centro Funzionale Campano
		Montemarano	14	40.91425	15.00366	865	Centro Funzionale Campano
		Cassano Irpino	15	40.88	15.0294	488	Centro Funzionale Campano
		Caposele	47	40.816138	15.220972	428	Centro Funzionale Campano
		Nusco	4	40.88333	15.08333	863	Servizio Idrografico Pugliese
Alta Irpinia	08	Senerchia	48	40.738611	15.205694	578	Centro Funzionale Campano
		Calitri	8	40.88417	15.41694	670	Servizio Idrografico Pugliese
		Teora	6	40.83389	15.23389	762	Servizio Idrografico Pugliese
		Bisaccia	3	41.00028	15.36722	900	Servizio Idrografico Pugliese
Alburni-Tanagro-Cilento	09	S. Angelo dei Lombardi	5	40.9175	15.18333	886	Servizio Idrografico Pugliese
		Contursi	49	40.6515	15.229722	75	Centro Funzionale Campano
		Castelluccio Cosentino	50	40.581916	15.33786	488	Centro Funzionale Campano
		Bellosguardo	51	40.423333	15.311472	554	Centro Funzionale Campano
		Persano	52	40.5443333	15.03255	35	Centro Funzionale Campano
		Gioi Cilento	53	40.29125	15.226194	691	Centro Funzionale Campano
		Vallo della Lucania	54	40.229888	15.262611	377	Centro Funzionale Campano
		Capo Palinuro	55	40.025121	15.28045	184	Aeronautica Militare
		Rofrano	56	40.247111	15.412861	443	Centro Funzionale Campano
		Morigerati	57	40.143944	15.561833	431	Centro Funzionale Campano
Torraca	58	40.11577	15.627694	529	Centro Funzionale Campano		

2. Metodologie e Dati

Come è noto, qualsiasi analisi climatologica non può prescindere da valutazioni sulla omogeneità delle serie temporali, basate sulla disponibilità e sulle caratteristiche dei metadati (Peterson *et al.*, 1998). Potrebbe infatti nascondersi, dietro una serie temporale di dati meteorologici, quello che viene definito rumore non climatico, causato da diversi fattori che potrebbero alterare l'intera elaborazione come il trasferimento e/o cambiamento

degli strumenti, cambiamenti nei tempi di osservazione, osservanza di normative, algoritmi per il calcolo delle medie etc. Le serie temporali utilizzate in questo studio provengono, principalmente, da due dataset differenti, in quanto a cavallo dell'anno 2000 il network di centraline pluviometriche facente parte al Servizio Idrografico e Mareografico di Napoli è entrato a far parte della rete di monitoraggio del Centro Funzionale Campano. Tale aspetto, in base ai metadati raccolti, contenenti solo le informazioni essenziali per ciascuna delle stazioni elencate in Tab. 1 (coordinate geografiche, ente di appartenenza, quota slm), oltre ad aver generato importanti lacune all'interno di un gran numero di serie temporali, ha introdotto anche rilevanti disomogeneità. Alcune centraline, infatti, probabilmente per ragioni logistiche e di opportunità, sono state rilocalizzate: sebbene esse continuino a ricadere nello stesso comune ove erano ubicate sino al 1999, lo spostamento fisico da esse subito è stato fortemente impattante sull'omogeneità della serie temporale. Vale la pena menzionare, a questo proposito, il caso della stazione di Caserta, originariamente ubicata nei pressi del Genio Civile, alla quota di 60 m slm, e poi rilocalizzata, dopo il 2000, in località Caserta Vecchia (alla quota di 420 m slm). Nell'ambito di questo studio, per ragioni legate alla carenza di informazioni dettagliate inerenti alla monografia di ciascuna stazione oggetto di indagine, non è stato possibile tradurre quantitativamente gli effetti di tali disomogeneità sulle serie temporali.

Per quanto concerne il periodo 1991-1999, i dati pluviometrici giornalieri del trimestre estivo sono stati digitalizzati manualmente dagli Annali del Servizio Idrografico e Mareografico di Napoli, pubblicamente accessibili sul portale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (<http://www.acq.isprambiente.it/annalipdf/>). La digitalizzazione è stata effettuata riportando le misure pluviometriche di ciascuna stazione di interesse in un foglio di lavoro elaborato in Microsoft Excel. Lo stesso approccio (fatta eccezione per l'anno 2020), è stato adottato per le misure pluviometriche di alcune stazioni campane (Bisaccia, Nusco, Savignano Irpino, Sant'Angelo dei Lombardi, Teora, Calitri) custodite negli Annali del Servizio Idrografico della Regione Puglia (<https://protezionecivile.puglia.it/centro-funzionale-decentralizzato/rete-di-monitoraggio/annali-e-dati-idrologici-elaborati/annali-idrologici-parte-i-download/>), così come per le due stazioni facenti parte della rete gestita dal Servizio Idrografico della Regione Abruzzo (<http://www.acq.isprambiente.it/annalipdf/>).

In merito al periodo successivo (2000-2020), i dati sono stati estratti dal database del portale del Centro Funzionale Campano (<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/sensori/archivio-pluviometrici>).

La Fig. 2 mostra la disponibilità di misure per ciascuna stazione per tutto il periodo considerato nello studio. Si noti la rilevante carenza di dati nei primi anni 2000, elemento comune alla maggior parte delle serie di dati originariamente facenti parte del Servizio Idrografico e Mareografico di Napoli. Solo 10 stazioni, e più precisamente le n. 1, 4, 5, 8, 14, 15, 21, 26, 33 e 50 presentano una disponibilità pari al 100%. È bene evidenziare che i dati pluviometrici registrati dalle stazioni elencate in Tab. 1, prima di essere adoperati per gli scopi del presente lavoro, sono stati oggetto di un controllo di qualità, finalizzato alla identificazione e alla eventuale rimozione degli errori grossolani.

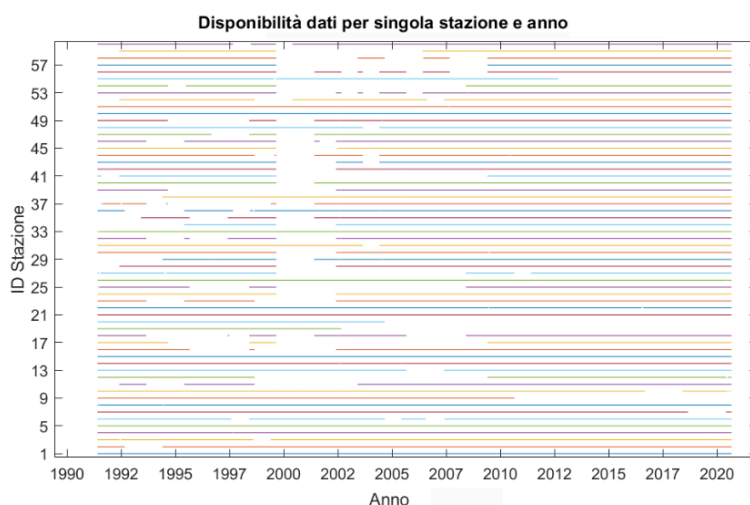


Fig. 2. Serie temporale della disponibilità dati per ciascuna stazione oggetto di studio. Si nota la grave carenza di dati agli inizi degli anni 2000.

Come asserito in sede introduttiva, le 60 stazioni pluviometriche di cui si dispone sono state raggruppate in nove differenti settori. Tale suddivisione è stata effettuata manualmente, aggregando le stazioni aventi affinità

da un punto di vista geografico e climatico. Al fine di verificare la bontà del criterio utilizzato, è stata eseguita un'analisi di correlazione strutturata nel seguente modo: attraverso una procedura iterativa, elaborata in ambiente Matlab, è stato calcolato l'indice di correlazione lineare (indice di Pearson) tra ciascuna serie temporale giornaliera di pioggia cumulata acquisita presso una determinata stazione e tutte le altre serie temporali disponibili. I risultati di tale disamina sono stati confortanti, supportando, dunque, anche da un punto di vista quantitativo il criterio utilizzato in sede di raggruppamento delle stazioni. A tal proposito, si cita a titolo esemplificativo il caso della stazione di Montevergine, la cui serie temporale è particolarmente ben correlata con le stazioni n. 23, 34 e 24 (Avellino, Serino e Altavilla Irpina), che coincidono con quelle facenti effettivamente parte del settore (avellinese) in cui ricade la stazione stessa.

Al fine di descrivere il regime pluviometrico estivo dell'area di interesse, è stata utilizzata un'ampia gamma di indicatori (Karl *et al.*, 1999; Petersen *et al.*, 2001), così come suggerito nel programma "Expert Team on Climate Change Detection and Indices" (ETCCDI) della World Meteorological Organization (WMO). Si tratta di indicatori abitualmente utilizzati in letteratura (e.g. Alexander *et al.*, 2006; Toreti and Desiato, 2008a), di cui è stata impiegata una versione adattata al territorio italiano, secondo quanto suggerito dall'ISPRA.

In particolare, gli indici utilizzati in questo studio sono elencati di seguito:

- Totale mensile e stagionale di precipitazione (in mm);
- Frequenza di occorrenza delle precipitazioni (giorni con almeno 1.0 mm di pioggia, che è la soglia minima affinché un giorno possa essere considerato "piovoso");
- Consecutive Dry Days (CDD), ovvero il numero di giorni consecutivi in cui sono state osservate precipitazioni nulle o inferiori a 1.0 mm;
- Intensità di precipitazione giornaliera (SDII), ovvero il rapporto tra il totale di precipitazione caduta in un certo periodo e il numero di giorni piovosi, che dà informazioni su come sono distribuite le piogge in un determinato intervallo temporale;
- R10, ossia il numero di giorni con precipitazione intensa (uguale o maggiore di 10.0 mm);
- R20, ossia il numero di giorni con precipitazione giornaliera molto intensa (uguale o maggiore di 20.0 mm).

Gli indicatori appena elencati sono stati calcolati, per ogni anno, per ciascun mese facente parte del periodo estivo, per ogni stagione estiva e per ciascuno dei 9 settori in cui è stata suddivisa l'area di interesse (mediando le informazioni ottenute dalle singole stazioni ricadenti in esse). La ricerca di eventuali trend all'interno delle serie temporali è stata effettuata facendo ricorso ad un modello di regressione lineare; lo studio della significatività statistica è stato effettuato tramite il test di Mann-Kendall (Wilks, 2006).

3. Risultati e Discussioni

3.1 Distribuzione e regimi pluviometrici

Da una disamina preliminare, basata su dati mediati sull'intero territorio regionale, sono emersi risultati nel complesso in accordo con quanto precedentemente (Longobardi e Villani, 2010); è stato riscontrato, infatti, un trend crescente delle precipitazioni estive. In Fig. 3 è riportato l'andamento delle precipitazioni osservate nella stagione estiva nel periodo 1991-2020. Il dato riportato per ogni singolo anno rappresenta la media, tra tutte le stazioni disponibili, della pioggia cumulata.

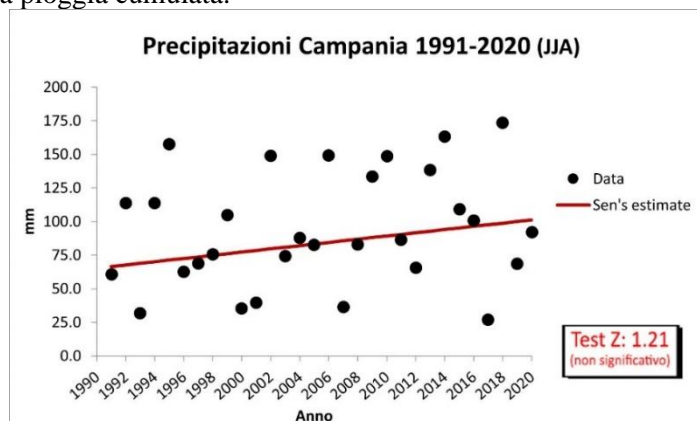


Fig. 3. Andamento medio delle precipitazioni estive in Campania (in mm, asse y) nel trentennio 1991-2020 (asse x). La linea rossa mostra la tendenza della curva di Sen; il valore del test Z di Mann-Kendall indica la non significatività statistica del trend (Wilks, 2006).

Si stima, dalla Fig. 3, un aumento medio delle precipitazioni estive di circa 40 mm in 30 anni, con un trend di circa +13mm/10 anni (linea rossa). Tuttavia, quel che mostra la Fig. 3 non è dal punto di vista statistico significativo, così come suggerito dal test di Mann Kendall: il valore del test Z, riportato in colore rosso, è infatti inferiore a quello minimo per la significatività dei trend (Wilks, 2006). Un'altra importante informazione che si può estrapolare dal grafico è la forte variabilità inter-annuale, con l'alternarsi di stagioni secche e piovose. Degne di menzione, a tal proposito, sono alcune stagioni piuttosto secche rispetto al valor medio, come quella del 1993 con soli 31.7 mm, a cui fa da contraltare quella del 1995 con un valore di circa 157 mm, oppure quella del 2007, con soli 36.2 mm, contrapposta alle due annate molto piovose del 2009 e 2010, caratterizzate da valori di 133.5 e 148.5 mm, rispettivamente. Tra le stagioni meno piovose, spicca senza ombra di dubbio quella del 2017, distintasi anche per le temperature particolarmente elevate, con appena 26.8 mm; è altresì interessante evidenziare che tale stagione estiva, estremamente secca, è stata seguita dall'estate più piovosa dell'ultimo trentennio, quella del 2018, in cui è stato rilevato un quantitativo medio di pioggia pari a 171 mm. Quanto appena evidenziato va interpretato come una conferma dell'estrema irregolarità della pluviometria estiva campana e della necessità di svincolarsi da valutazioni mediate su tutto il territorio.

La figura seguente (Fig. 4) mostra, per ciascuna delle nove sub-regioni, un diagramma di tipo *boxplot* (o diagrammi a scatole e baffi), in cui i "baffi" equivalgono al 10° e 90° percentile, la "scatola" è compresa tra il primo ed il terzo quartile della distribuzione (25° e 75° percentile), mentre la barra rossa rappresenta la mediana. Esaminando nel dettaglio la Fig. 4, si possono distinguere due settori in cui gli apporti di pioggia sono molto scarsi, ovvero il 2 (napoletano e casertano) e il 3 (golfo di Napoli e Salerno e costiera amalfitana), ove non viene mai oltrepassato, nel periodo considerato, il valore di 200 mm stagionali. Il settore più piovoso, invece, risulta essere il n. 8, ovvero quello dell'Alta Irpinia, il settore più orientale della Provincia di Avellino, posto al confine con il potentino. Anche nelle sub-regioni 5 e 7, comprendenti le stazioni che ricadono nell'avellinese e nella fascia dei monti Picentini, si osservano quantitativi medi di pioggia ben più consistenti rispetto a quelli dei settori costieri e pianeggianti. È altresì interessante evidenziare che gli scostamenti di maggiore rilievo dal valore mediano, rappresentati dal 90° percentile, si osservano in corrispondenza non solo dei tre settori più piovosi (8, 7 e 5), ma anche in corrispondenza del settore 4.

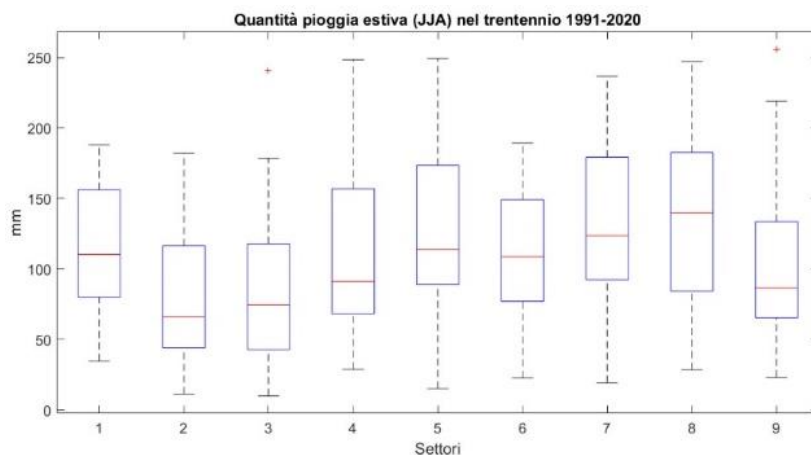


Fig. 4. Diagramma a scatola (boxplot) per ciascuna delle nove sub-regioni in cui è stata ripartita l'area di interesse. Il parametro riportato sull'asse delle ordinate è il totale stagionale di pioggia cumulata (mm). La statistica è stata calcolata sui dati del periodo 1991-2020.

Attraverso la Fig. 5, è possibile analizzare l'andamento nel tempo della quantità di precipitazione atmosferica osservata nel settore più piovoso. Si noti, oltre alla forte variabilità interannuale, il manifestarsi con cadenza quasi decennale di stagioni estive particolarmente secche (1996, 2007 e 2017). Questo aspetto potrebbe suggerire la presenza di una periodicità nella serie temporale, che sarà oggetto di futuri approfondimenti tramite tecniche di analisi spettrale. Tra le stagioni più piovose (> 200 mm), si annoverano le estati degli anni 1995, 2002, 2006 e 2013.

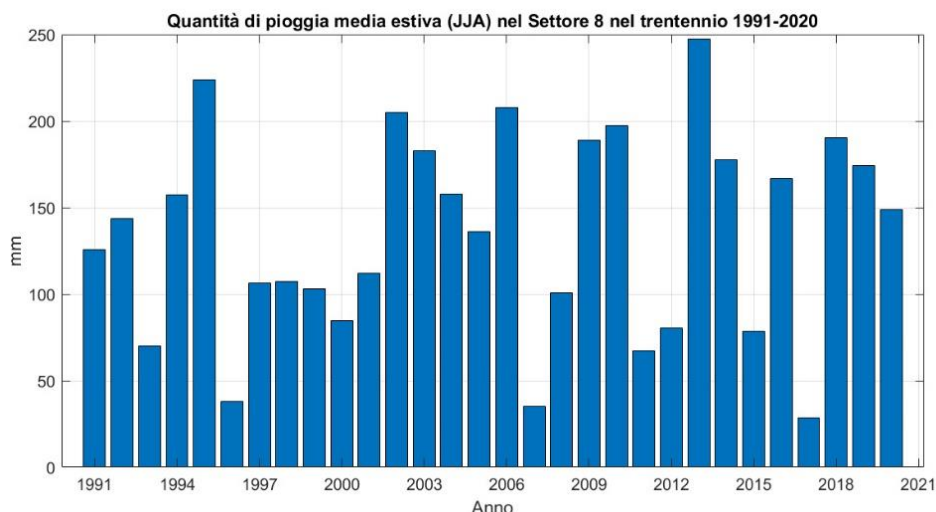


Fig. 5. Andamento temporale dei quantitativi di pioggia estivi mediamente osservati nel settore 8 (Alta Irpinia), il più piovoso dell'intero territorio regionale. Si noti la forte variabilità interannuale.

Per quanto concerne la frequenza dei fenomeni di pioggia estivi, dalla disamina della Fig. 6 emerge un quadro simile a quello poc'anzi descritto. I valori più elevati, in termini di mediana, sono stati riscontrati ancora una volta in corrispondenza del settore 8. Valori simili, seppur leggermente più bassi, sono stati rilevati nei settori 5, 7 e 1. Nelle sub-regioni 2 e 3, invece, la pioggia cade con una frequenza dimezzata rispetto a quella riscontrabile nel settore 8: si noti che nei settori 2 e 3, il 10° percentile è pari a soli due giorni.

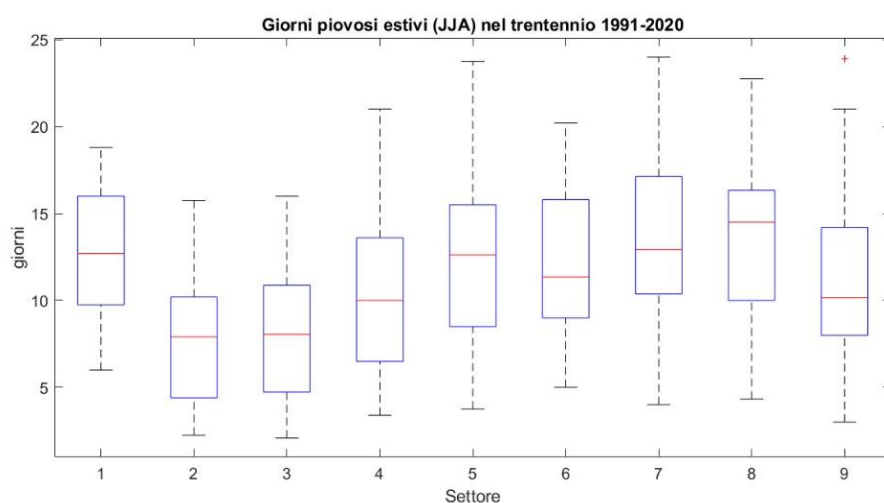


Fig. 6. Diagramma a scatola (boxplot) per ciascuna delle nove sub-regioni in cui è stata ripartita l'area di interesse. Il parametro riportato sull'asse delle ordinate è la frequenza di occorrenza delle precipitazioni (giorni con almeno 1.0 mm di pioggia). La statistica è stata calcolata sui dati del periodo 1991-2020.

Le differenze tra il regime pluviometrico osservato nei settori costieri e sub-costieri ed in quelli più interni emergono in maniera ancor più rilevante se si considera il parametro CDD, che rappresenta il numero di giorni consecutivi senza pioggia. Nei boxplot raffigurati in Fig. 7, si nota un valor mediano oscillante tra 25 e 30 giorni per tutti i settori, fatta eccezione per le sub-regioni 2 e 3, in cui lo stesso è compreso fra 35 e 40. In particolare, il settore maggiormente soggetto a lunghi periodi di siccità è quello che include le stazioni che ricadono nel golfo di Napoli ed in quello di Salerno, ove il 90° percentile supera i 70 giorni. La Fig. 8 mostra l'andamento temporale del parametro CDD nel settore 3: da un'ispezione dettagliata di questa figura, emergono la chiara assenza di un trend e il succedersi di tre stagioni estive, negli anni 2007, 2008 e 2009, caratterizzate da lunghi periodi di siccità.

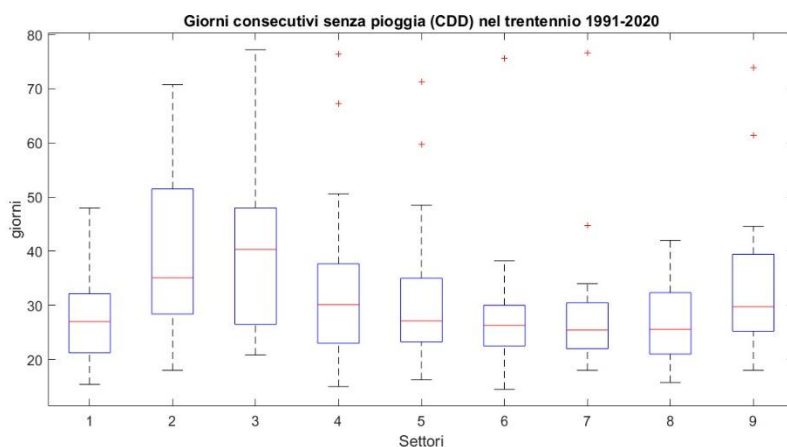


Fig. 7. Diagramma a scatola (boxplot) per ciascuna delle nove sub-regioni in cui è stata ripartita l'area di interesse. Il parametro riportato sull'asse delle ordinate Consecutive Dry Days (CDD), ovvero il numero di giorni consecutivi in cui sono state osservate precipitazioni nulle o inferiori a 1.0 mm. La statistica è stata calcolata sui dati del periodo 1991-2020.

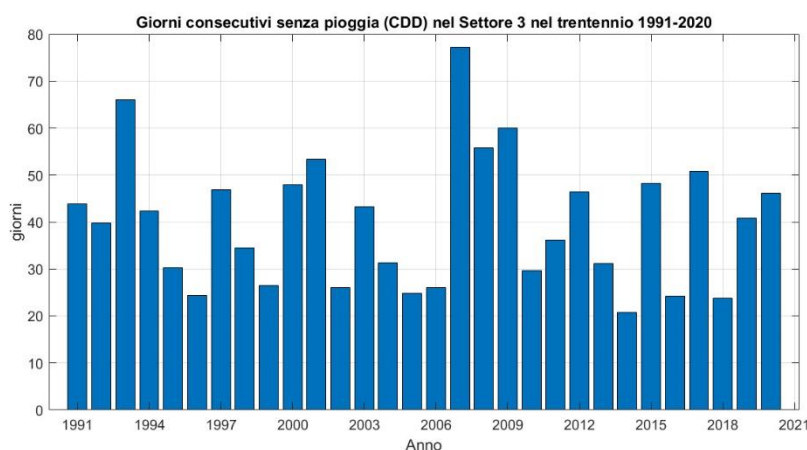


Fig. 8. Andamento temporale dell'indice CDD nel settore 3 (Golfo di Napoli, Golfo di Salerno e costiera amalfitana). Si noti il succedersi, a cavallo fra il 2007 ed il 2009, di tre stagioni estive contraddistinte da lunghi periodi siccitosi.

Meritevoli di attenzione sono anche le evidenze emerse dall'analisi dell'indice SDII (Fig. 9). Quest'ultimo ci dà informazioni su come sono distribuite le piogge in un certo arco di tempo.

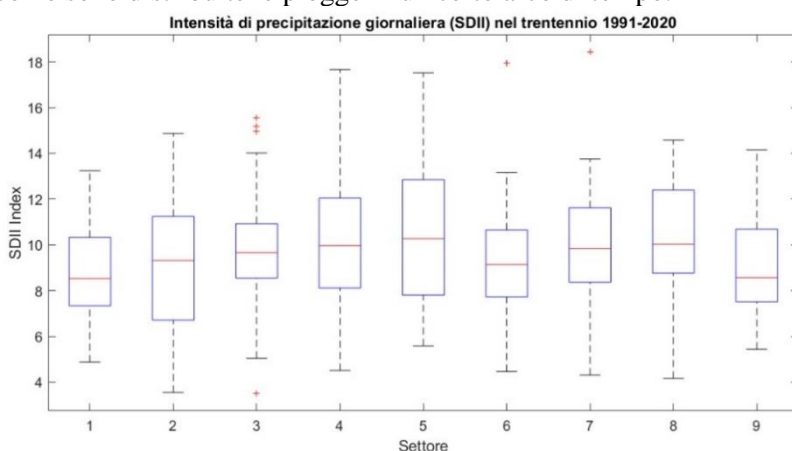


Fig. 9. Diagramma a scatola (boxplot) per ciascuna delle nove sub-regioni in cui è stata ripartita l'area di interesse. Il parametro riportato sull'asse delle ascisse è l'intensità di precipitazione giornaliera (SDII), ovvero il rapporto tra il totale di precipitazione caduta in un certo periodo e il numero di giorni piovosi. La statistica è stata calcolata sui dati del periodo 1991-2020.

Dalla Fig. 9 si evince che tutti i settori presentano un valore compreso tra 8 e 10; i valori più elevati in assoluto, anche in termini di 90° percentile, si osservano nelle sub-regioni 4 e 5.

Si ottiene dividendo il totale delle precipitazioni (in mm) per un intervallo di tempo, che in questo studio è il trimestre estivo, considerando i soli giorni in cui vengono raggiunti almeno 1.0 mm di pioggia. Ciò significa che quanto più alto sarà questo indice, tanto più le precipitazioni saranno concentrate in meno giorni; viceversa, valori relativamente bassi di tale indice indicano una distribuzione più sparsa e omogenea delle precipitazioni totali.

Sono state esaminate, inoltre, anche le relazioni tra i quantitativi di pioggia mediamente osservati nel trimestre estivo e l'altimetria del territorio. I risultati di tale disamina sono sintetizzati nella Fig. 10, che mostra un incremento lineare delle precipitazioni con l'aumentare della quota, quantificabile in circa +10 mm/200 metri di altitudine. Tale statistica è stata elaborata escludendo le stazioni n. 4, 19, 20 e 55, complice la considerevole carenza di misure. Esaminando nel dettaglio la Fig. 10, si evince che i valori più bassi (circa 50 mm stagionali) appartengono a stazioni (24, 35, 39 e 59) facenti parte dei settori 2 e 3, quelli ove si riscontrano, in media, apporti meteorici relativamente esigui; i quantitativi di pioggia più elevati (generalmente compresi fra 100 e 150 mm), sono stati riscontrati invece in corrispondenza delle stazioni che ricadono nei settori 7 e 8; fa eccezione la stazione di Montevergine (settore 5), che tuttavia è quella posizionata alla quota più elevata fra tutte, elemento che la rende, tra quelle esaminate, la località in media più piovosa del territorio campano durante il periodo estivo.

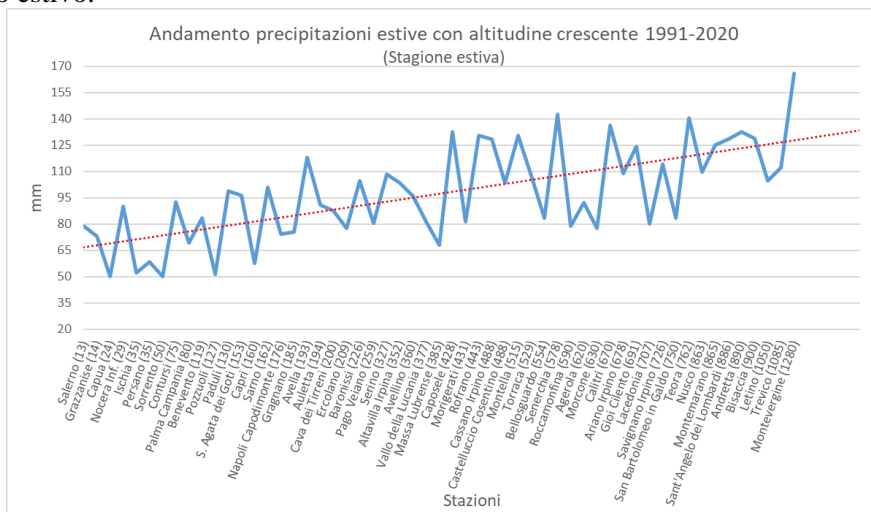


Fig. 10. Relazione tra i quantitativi di pioggia mediamente osservati nel trimestre estivo (asse delle ordinate, in mm) nel trentennio 1991-2020 e l'altimetria delle singole stazioni (riportata tra parentesi nell'asse delle ascisse). Si mostra, inoltre, in colore rosso, un modello lineare che mette in evidenza l'incremento degli apporti di pioggia con l'aumentare della quota.

Le relazioni intercorrenti tra regime pluviometrico estivo (sintetizzato dal quantitativo medio stagionale per ragioni di sintesi) e l'orografia del territorio in esame è stata oggetto di ulteriori approfondimenti. In particolare, la Fig. 11 mostra i quantitativi di pioggia medi rilevati nel trimestre estivo considerando un transetto zonale (ovest-est) lungo 127 km e largo 25 km, che comprende 19 stazioni facenti parte di sei sub-regioni. Sono stati esclusi, dunque, i settori più settentrionali e il più meridionale. Questa elaborazione ci dà preziose informazioni sulla dipendenza dei quantitativi medi di pioggia da fattori geografici, quali la distanza dal mare ed i principali comprensori montuosi. Analizzando le evidenze mostrate dalla Fig. 11, si può facilmente dedurre che i quantitativi di pioggia aumentano progressivamente man mano che ci si sposta nell'entroterra: i valori apicali, tuttavia, non si raggiungono in corrispondenza delle stazioni localizzate in prossimità dei comprensori montuosi (Partenio e Picentini), bensì nel settore più orientale, l'Alta Irpinia (settore 8), un'area a prevalente vocazione collinare. Le stazioni appartenenti a tale settore (Teora, Andretta, Calitri) risultano, dunque, a parità di quota, più piovose di quelle afferenti al settore 7 (quali ad esempio Montemarano e Nusco), che include la fascia dei monti Picentini. Una possibile chiave di interpretazione di tale risultato risiede nelle dinamiche atmosferiche che modulano la pluviometria estiva campana. Come brevemente illustrato in sede introduttiva, le stesse sono sovente regolate dall'interazione tra la circolazione a scala sinottica e fattori meteorologici alla mesoscala (Capozzi *et al.*, 2018). Tra questi, un ruolo preponderante viene svolto dalle circolazioni di brezza diurna di origine marittima ed in particolare quelle che nascono in virtù delle differenze di temperatura tra le acque del Mar Tirreno e l'immediato entroterra campano. Tale

circolazione, di provenienza prevalentemente occidentale, è in grado di spingersi sovente per molte decine di km nell'entroterra campano sino a raggiungere i settori più orientali della Regione. Qui, se le condizioni a scala sinottica lo consentono, l'aria in arrivo da occidente converge, nei bassi strati dell'atmosfera, con l'analoga circolazione di brezza (ma di direzione opposta, ossia orientale) proveniente dal litorale adriatico: la convergenza al suolo dei venti, come è noto, per ragioni legate al principio di conservazione della massa, è un elemento in grado di incentivare i moti ascensionali dell'aria (ossia i fenomeni convettivi), a prescindere, dunque, da qualsiasi forzante di natura orografica. Il meccanismo appena descritto può scaturire anche dall'interazione tra la brezza diurna di origine tirrenica e venti sinottici di provenienza settentrionale (Capozzi *et al.*, 2018).

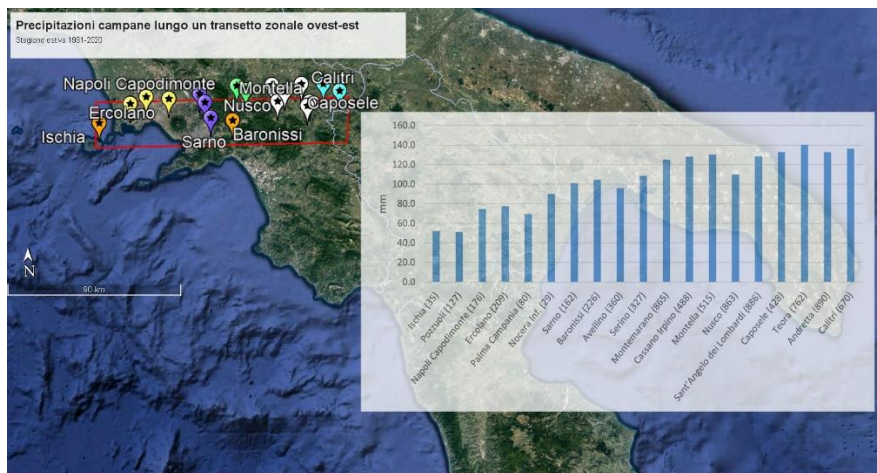


Fig. 11. Quantitativi di pioggia medi rilevati nel trimestre estivo (asse y del grafico a barre, in mm) nel trentennio 1991-2020 in corrispondenza di un transetto zonale (ovest-est, evidenziato in colore rosso) lungo 127 km e largo 25 km che include 19 stazioni afferenti a differenti sub-regioni (asse x).

3.2 Trend significativi ed eventi estremi

La maggior parte dei segnali climatologici analizzati in questo studio non presenta trend staticamente significativi. Tale risultato è in accordo con quanto emerso da lavori pregressi e può essere ascritto alla forte variabilità inter-annuale che contraddistingue la pluviometria estiva campana e, più generale, dell'Italia centro-meridionale. Gli unici segnali che mostrano un trend che soddisfa i livelli di significatività del 5 e del 10% sono stati riscontrati nella disamina del regime pluviometrico delle sub-regioni 4 e 1. In particolare, nel primo caso, è emerso che nel settore pre-appenninico campano è in atto una tendenza di segno positivo nel numero di eventi di pioggia intensi (>10.0 mm). Tale risultato, valevole per il mese di giugno, è sintetizzato dalla Fig. 12a; da notare come il numero di tali eventi sia cresciuto a partire dal 2005, sebbene il segnale sia molto irregolare. Per quanto concerne il settore 1, si osserva nella Fig. 12b un trend di crescita dei quantitativi di pioggia nel mese di luglio ed in particolare dalla seconda metà degli anni 2000.

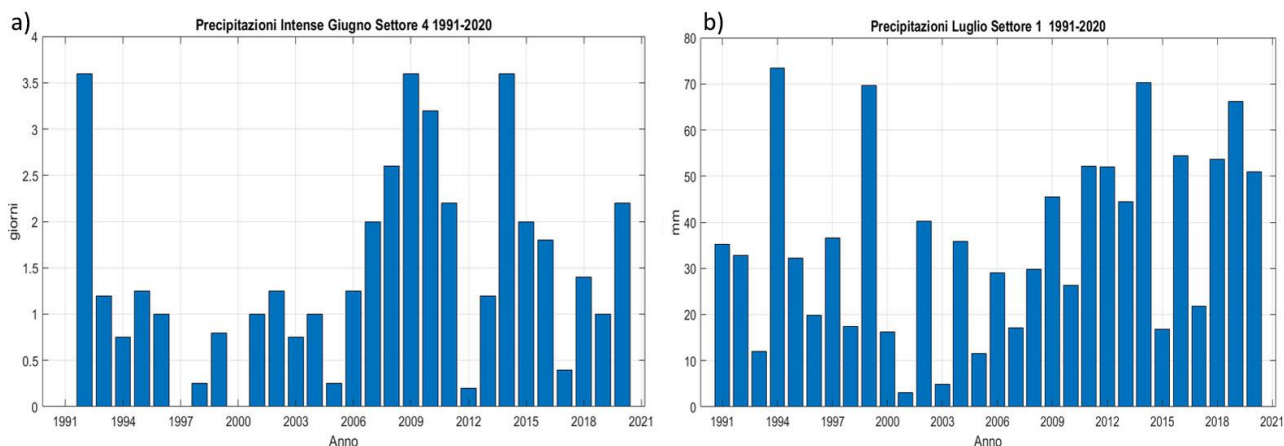


Fig. 12. (a) Andamento temporale delle precipitazioni intense (numero di giorni con pioggia ≥ 10 mm) osservate nel mese di giugno nel settore 4; (b) andamento temporale del quantitativo di pioggia rilevato nel mese di luglio nel settore n.1 In entrambi i casi, è stata riscontrata una tendenza lineare positiva (al 5%).

La Fig. 13 mostra un focus relativo all'indicatore che descrive la frequenza di occorrenza stagionale di R20 (i.e. giorni con precipitazione uguale o superiore a 20.0 mm). Si noti che la mediana oscilla tra 1 e 2 giorni a seconda del settore, raggiungendo i valori più elevati in corrispondenza dei settori 8, 5 ed 1, che, dunque, sono quelli generalmente più soggetti a fenomeni precipitativi estivi di una certa rilevanza. È altresì opportuno evidenziare, tuttavia, che, nel caso del settore 2, la distribuzione riscontrata è fortemente asimmetrica, come testimoniato dal valore del 90° percentile che è paragonabile a quello dei settori 5 ed 8. L'area costiera e sub-costiera delle province di Napoli e Caserta, dunque, alla luce di quanto emerso da questa analisi e dalle elaborazioni precedenti (in particolare da quelle inerenti all'indice SDII) sono contraddistinte da un regime pluviometrico estivo "povero" in termini di quantitativi medi e di giorni di pioggia, ma che contempla il verificarsi di fenomeni precipitativi molto intensi.

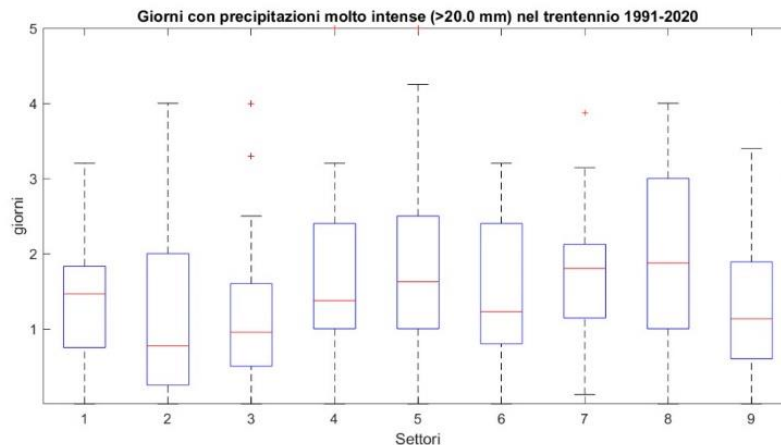


Fig. 13. Diagramma a scatola (boxplot) per ciascuno delle nove sub-regioni in cui è stata ripartita l'area di interesse. Il parametro riportato sull'asse delle ascisse è R20, ovvero il numero di giorni con precipitazione giornaliera molto intensa. La statistica è stata calcolata sui dati del periodo 1991-2020.

4. Conclusioni

Lo scopo del presente elaborato è stato quello di analizzare il regime pluviometrico estivo della Regione Campania, attraverso i dati di pioggia giornaliera misurati nel trentennio 1991-2020 da 60 stazioni al suolo. In virtù della intrinseca variabilità spaziale e temporale dei fenomeni precipitativi comunemente osservati nel periodo estivo (di natura prevalentemente convettiva) e dell'eterogeneità del territorio campano, l'area di studio è stata suddivisa in 9 settori. I dati delle stazioni ricadenti in ciascuno di essi sono stati mediati e sintetizzati in una serie di indici comunemente utilizzati in letteratura per descrivere le peculiarità e l'evoluzione dei regimi pluviometrici. Nella maggior parte dei settori, è stato riscontrato un trend positivo nei quantitativi di pioggia stagionali: si tratta, tuttavia, di tendenze che non hanno significatività apprezzabile da un punto di vista statistico, a causa della forte variabilità inter-annuale. Tre settori, corrispondenti alle aree geografiche dell'Alta Irpinia, della fascia dei Monti Picentini e dell'avellinese, si sono distinti per apporti medi di pioggia relativamente alti (fino a 250 mm in alcune stagioni particolarmente ricche di fenomeni precipitativi) e anche per il numero relativamente elevato di giorni piovosi (fino a 25 in alcune annate); a queste sub-regioni, fanno da contraltare i settori che inglobano la pianura casertana, buona parte della provincia di Napoli ed il golfo di Salerno, ove si osservano apporti di pioggia notevolmente inferiori e concentrati in pochi giorni (circa la metà di quelli riscontrati nei settori più piovosi). I settori costieri della Campania, in base a quanto emerso da tale studio, risultano essere soggetti a lunghi periodi di siccità: in alcune annate, infatti, sono stati riscontrati fino a 80 giorni consecutivi senza precipitazioni di rilievo. Di particolare rilievo sono state le evidenze mostrate dall'indice SDII (intensità di precipitazione giornaliera) che è relativamente omogeneo su tutto il territorio, massimizzandosi in corrispondenza del settore preappenninico occidentale. In merito agli eventi di pioggia estremi (da intendersi come numero di giorni in cui la pioggia giornaliera supera soglie comunemente adottate in letteratura, quali 10.0 e 20.0 mm), è stata rilevata una tendenza di crescita nel mese di giugno nel settore del pre-appenninico occidentale. Le prospettive future di questo lavoro devono partire necessariamente dai punti di debolezza dello stesso, riguardanti la disomogeneità di alcune delle serie storiche di dati giornalieri analizzate. Agli inizi degli anni 2000, infatti, molte centraline pluviometriche, originariamente appartenenti al Servizio Idrografico e Mareografico di Napoli, sono state rilocalizzate ed annesse alla rete del Centro Funzionale di Protezione Civile della Campania. Tali disomogeneità, potrebbero aver introdotto, in determinati

casi, artefatti nelle serie temporali in grado di mascherare i segnali di natura climatica: sarà dunque necessario destinare i lavori futuri, innanzitutto, alla omogeneizzazione delle serie temporali digitalizzate nell'ambito di questo studio, nonché a controlli di qualità più accurati. Il dataset portato alla luce in questo lavoro, una volta omogeneizzato, potrà essere utilizzato anche per studi volti a identificare i pattern di circolazione meteorologica alla scala sinottica e alla mesoscala che condizionano maggiormente la pluviometria estiva del territorio campano, che contempla, alla luce di quanto emerso in questo elaborato, regimi molto differenti fortemente dipendenti dalle peculiarità geografiche del territorio.

Bibliografia

Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M. & Vazquez-Aguirre J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290;

Annali del Servizio Idrografico della Regione Puglia, disponibili all'indirizzo: <https://protezionecivile.puglia.it/centro-funzionale-decentrato/rete-di-monitoraggio/annali-e-dati-idrologici-elaborati/annali-idrologici-parte-i-download/>. Ultimo accesso: 21/10/2020;

Annali idrologici dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, disponibili all'indirizzo: <http://www.acq.isprambiente.it/annalipdf/>. Ultimo accesso: 15/10/2020;

Archivio storico di dati pluviometrici del Centro Funzionale Multirischi di Protezione Civile della Regione Campania, disponibili all'indirizzo: <http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/sensori/archivio-pluviometrici>. Ultimo accesso: 26/10/2020;

Brunetti, B., Maugeri, M., Monti, F. and Nannia, T. 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series, 345-381;

Caloiero, T.; Coscarelli, R. and Ferrari, E. 2017. Analysis of rainfall trend in southern Italy through the application of the ITA technique, 199-206;

Capozzi, V., Picciotti, E., Mazzarella, V., Marzano, F.S., Budillon, G. 2018: Fuzzy-logic detection and probability of hail exploiting short-range X-band weather radar. In: *Atmospheric Research*, Volume 201, March 2018, 17-33. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.10.006>;

Deitch, M., Sapundjieff, M. and Feirer, 2017. S. Characterizing precipitation variability and trends in the world's mediterranean-climate areas.

Giordano, F., Barbieri, L. Linee guida, principi e procedure standardizzate per l'analisi climatica e la valutazione della vulnerabilità a livello regionale e locale;

Karl, T.R., Nicholls, N., and Ghazi, A. 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7;

Longobardi, A., and Villani, P. 2010. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the mediterranean area, 1538-1546;

Peterson, T.C., and Coauthors: Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143pp;

Toreti, A. and Desiato, F. 2008a. Temperature trend over Italy from 1961 to 2004, *Theor. Appl. Climatol.*, 91: 51-58;

Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in Atmospheric Sciences*, 2nd ed., Academic Press: Burlington, NJ, USA.