

Analisi di dati sub-giornalieri ad elevata risoluzione di precipitazione acquisiti nella provincia di Salerno durante il periodo compreso tra il 2007 ed il 2020.

Autore: Rocco Armando¹ **Supervisore:** Capozzi Vincenzo²

^{1,2}Università degli studi di Napoli "Parthenope"

E-mail: armando_rocco@outlook.it; **Cellulare:** +39 348 61 91 030

Lunghezza dell'articolo: 12 pagine, 5364 parole

Abstract

I fenomeni meteorologici ed in particolari quelli più intensi, di natura prevalentemente convettiva, influenzano la nostra vita quotidiana e presentano un'ampia gamma di conseguenze che possono avere notevoli impatti sulle infrastrutture, sull'economia e anche sulla salute. I fenomeni di forte pioggia di breve durata, generalmente afferenti a scale temporali molto piccole (poche decine di minuti o poche ore), possono causare, anche in virtù della loro bassa predicibilità, allagamenti, frane, inondazioni improvvise e valanghe di neve. In un contesto come quello attuale, caratterizzato da una crescente pressione antropica e da cambiamenti climatici molto rilevanti, appare indispensabile intraprendere attività di ricerca volte ad approfondire le conoscenze inerenti alle dinamiche degli eventi di pioggia intensa e alla loro variabilità nel tempo. Facendo leva sulle motivazioni appena esposte, questo lavoro si pone l'obiettivo di analizzare le misure pluviometriche sub-giornaliere acquisite con risoluzione temporale di 10 minuti da alcune centraline operative in provincia di Salerno, facenti capo alla rete del Centro Funzionale di Protezione Civile della Regione Campania. L'intervallo temporale oggetto di indagine, alla luce della limitata disponibilità di misure ad alta risoluzione temporale, è relativamente ristretto e si estende dal 2007 al 2020. La disamina delle misure pluviometriche è stata effettuata tramite alcuni indici, introdotti dall'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* dal progetto *INTENSE*, concepiti per la caratterizzazione della variabilità pluviometrica giornaliera e sub-giornaliera. I risultati ottenuti nel seguente elaborato hanno messo in evidenza la stretta dipendenza del regime pluviometrico sub-giornaliero dall'orografia complessa della Provincia di Salerno. Inoltre, al netto di inevitabili incertezze legate alla brevità dell'arco di tempo esaminato, non sono emerse tendenze significative nella frequenza di occorrenza degli eventi precipitativi intensi e molto intensi.

Parole chiave: *indici climatici, eventi estremi di precipitazione, dati sub-giornalieri di precipitazione*

1. Introduzione

I recenti risultati forniti dall'ultimo rapporto dell'IPCC evidenziano una probabile correlazione tra il cambiamento climatico in atto ed l'incremento dei fenomeni meteorologici intensi (quali ad esempio improvvisi e violenti eventi precipitativi a scala sub-giornaliera). Questi ultimi, oltre a generare condizioni di rischio idrogeologico, arrecano sovente considerevoli danni al tessuto economico e sociale.

La provincia di Salerno, a causa della sua grande variabilità geomorfologica, presenta numerose zone ad elevato rischio idrogeologico, che necessitano di un'attenta e lungimirante pianificazione urbanistica, basata su un approfondito studio del territorio, parallelamente ad una dettagliata conoscenza dell'evoluzione climatica del recente passato, prestando grande attenzione alla ricostruzione degli eventi e dei fenomeni meteorologici. In tale contesto, il principale punto di riferimento nell'ambito della ricerca di evidenze riguardanti la variabilità nel tempo dei fenomeni precipitazioni, ed in particolare di quelli estremi, è costituito dalle serie storiche di dati meteorologici (*Maugeri et al 2015, Blenkinsop et al 2018 & Alexander et al 2019*). E' opportuno evidenziare, tuttavia, con particolare riferimento al territorio italiano, che non sempre sono disponibili serie temporali

sufficientemente estese di dati pluviometrici ad elevata risoluzione temporale, che rispondano a requisiti di qualità, completezza e continuità, tali da poter garantire una stima affidabile delle tendenze climatiche (*Blenkinsop et al 2016, Alexander et al 2019, Lewis et al 2019 & INTENSE Project*).

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi focalizzati sugli eventi di precipitazione a scala sub-giornaliera (da pochi minuti a diverse ore), non solo in termini di intensità e natura del fenomeno, ma anche in termini di frequenza di accadimento di un evento particolarmente intenso. Molti di questi studi si sono avvalsi di diverse metodologie di approccio al problema, determinando, ad esempio, alcuni indici climatici (annuali, mensili o stagionali estesi a tutta la serie temporale) per gli eventi precipitativi intensi o estremi; tali indici vengono calcolati a partire dalle serie temporali dei dati pluviometrici giornalieri (a 24 ore) e sub-giornalieri (6, 3 e 1 ora) e sono stati sviluppati da diversi team di ricerca, quali l'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* per i dati giornalieri, e dal *INTENSE Project* per quelli sub-giornalieri (*Fowler H. 2015, Lewis et al 2018, Alexander et al 2019 & Poschold et al 2021*).

In genere, le osservazioni pluviometriche sono disponibili sotto forma di:

- Misurazioni in situ, giornaliere e sub-giornaliere, fornite da sensori pluviometrici presenti nelle stazioni meteorologiche distribuite nel territorio di indagine;
- Osservazioni indirette tramite *remote-sensing*, provenienti dai sensori montati a bordo dei satelliti in orbita o dai radar presenti nel territorio da investigare;
- Dati di rianalisi, frutto di output modellistici.

In questo lavoro, saranno analizzate sette serie temporali di dati di precipitazione cumulata sub-giornaliera (aventi una risoluzione temporale di 10 minuti) misurate nel periodo 2007-2020 dai sensori pluviometrici ubicati sul territorio provinciale di Salerno e sotto l'attuale controllo del Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Campania. La scelta di focalizzare l'attenzione sulla Provincia di Salerno è stata dettata sia da ragioni legate alla sussistenza di forti criticità idrogeologiche, testimoniate dal verificarsi di numerosi eventi franosi (<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/documenti/rapporti>), sia dall'assenza, in base a quanto evidenziato dalla letteratura pregressa, di studi rivolti ad una caratterizzazione del regime pluviometrico sub-giornaliero di quest'area. A causa di una serie di problematiche, elencate di seguito, le serie temporali di cui si dispone per questo lavoro coprono un arco di tempo relativamente limitato, che non ha valenza strettamente climatologica. In particolare, tra i fattori che hanno inciso sull'estensione del periodo di indagine, nonché sul numero delle centraline selezionate, si citano:

- Lo spostamento, il malfunzionamento o la rimozione di una determinata stazione;
- La sostituzione o la manutenzione della sensoristica;
- Il tempo di inizio di registrazione ed archiviazione di misure sub-giornaliere;
- La disomogeneità nella distribuzione spaziale delle centraline, le quali presentano una maggiore densità nelle zone definite ad alto rischio idrogeologico (<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/sensori/sensor-utility>).

Un altro problema non indifferente, come evidenziato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO, 2011), consiste nella fase di validazione dei dati, la quale imporrebbe un loro utilizzo solo dopo aver superato adeguati controlli di qualità, sottoponendo regolarmente le serie temporali a rigorosi accertamenti che assicurino che ogni singolo valore della serie non sia affetto da errori introdotti nella fase di osservazione, trascrizione e archiviazione del valore stesso (per dati sub-giornalieri orari vedi *Blenkinsop et al 2016, Lewis et al 2018 & Lewis et al 2021*). In merito a tale aspetto, ciascuna serie temporale oggetto di indagine è stata sottoposta ad un controllo di qualità, finalizzato alla ricerca e alla rimozione degli errori grossolani.

Al fine di estrapolare informazioni inerenti all'intensità ed alla frequenza degli eventi di pioggia intensi ed estremi, sono stati adoperati alcuni indicatori, definiti da diversi team di ricerca (come anticipato precedentemente l'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* ed *INTENSE Project*) ed ampiamente utilizzati nella letteratura scientifica internazionale (e.g. *Lewis et al 2018 & Alexander et al 2019*).

Il manoscritto è strutturato come segue. Nella Sezione 2, saranno descritte le misure adoperate e le metodologie di indagine. I risultati sono presentati nella Sezione 3, mentre la Sezione 4 è dedicata alle conclusioni e alle prospettive future.

2. Data set e metodi usati

Come anticipato precedentemente, le serie temporali dei dati di precipitazione cumulata sub-giornaliera ad altissima risoluzione temporale (10 min) sono state prelevate dalla banca dati del Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Campania (<http://centrofunzionale.regione.campania.it/#/pages/sensori/sensor-utility>). E' opportuno evidenziare che, in base alle informazioni riportate sul portale del Centro Funzionale, tali dati sono stati sottoposti a tutte le fasi di validazione necessarie ai fini di una loro pubblicazione definitiva. Inoltre, sebbene siano state introdotte diverse metodologie di controllo di qualità e validazione per serie di precipitazione cumulata a risoluzione giornaliera e sub-giornaliera nella letteratura scientifica (fino alla cumulata oraria) (ISPRA 37/2013, ISPRA "Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione" 66/2016, Blenkinsop et al 2016, Lewis et al 2018, Alexander et al 2019, Lewis et al 2021 & PROGETTO LIFE MASTER ADAPT), risultano di difficile reperimento informazioni riguardanti i processi di validazione di serie temporali a risoluzione sub-oraria quali quelle adoperate nel seguente elaborato.

Tra le serie di dati pluviometrici disponibili per la Provincia di Salerno, sono state selezionate quelle aventi la maggiore disponibilità di misure sub-giornaliere. La durata delle serie storiche prese in esame è di 14 anni, dal 2007 al 2020, a causa della mancanza di dati nel periodo antecedente a quello appena citato. La scelta delle stazioni è stata effettuata secondo dei criteri logici ed arbitrari, tenendo in considerazione anche la variegata eterogeneità dell'area (presenza di elementi geomorfologici montuosi, collinari, vallivi, pianeggianti, depressionari e costieri). La localizzazione delle centraline adoperate in questo studio è mostrata in Figura 2.1 attraverso i segnaposti di colore blu.

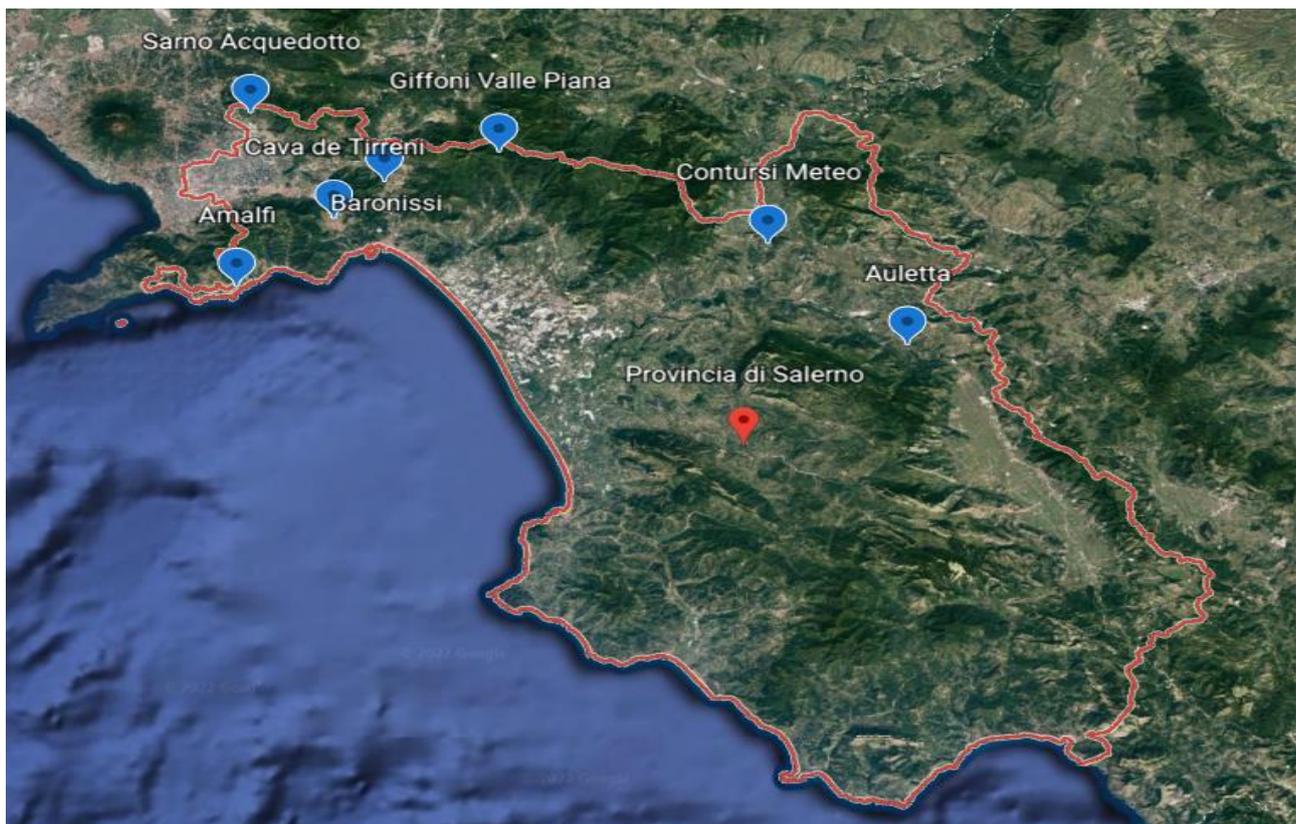


Figura 2.1 Distribuzione spaziale e posizione geografica delle stazioni afferenti alla rete di monitoraggio della Protezione Civile della Regione Campania adoperate per questo studio. Credits: © Google Earth, Data Sio, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO.

Purtroppo a causa della totale mancanza di serie storiche sufficientemente lunghe in alcune delle stazioni ricadenti nell'area di studio, non è stato possibile costruire un dataset che offre una copertura completa della regione di interesse. La denominazione, le coordinate geografiche ed il settore territoriale di appartenenza delle stazioni selezionate sono riportati nella Tabella 2.1. Questa, inoltre, fornisce informazioni anche sul contesto morfologico in cui ricade ciascuna stazione.

Tabella 2.1. Dati geografici, morfologici ed identificativi delle sette stazioni meteorologiche adoperate in questo studio, tutte afferenti alla rete di monitoraggio del Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile Regione Campania.

NOME STAZIONE	COMUNE	ID STAZIONE	ID STRUMENTO	QUOTA (m)	LATITUDINE	LONGITUDINE	GEOGRAFIA PROVINCIALE	ZONA TERRITORIALE	MORFOLOGIA TERRITORIALE
Sarno Acquedotto Campano	Sarno	365000	38445	162	40.835	14.595	Nord Occidentale	Agro-Nocerino-Sarnese	Pianura-Collinare
Baronissi	Baronissi	127370	21774	226	40.7511	14.7661	Nord Occidentale	Valle dell'Irno	Vallata-Collinare
Cava de Tirreni	Cava de Tirreni	126860	18917	195	40.7058	14.7022	Nord Occidentale	Monti Lattari	Collinare-Montuosa
Amalfi	Amalfi	127490	21753	99	40.6222	14.5794	Nord Occidentale	Costiera Amalfitana	Costa Rocciosa
Giffoni Valle Piana	Giffoni Valle Piana	127000	18964	980	40.7866	14.9119	Nord Centrale	Monti Picentini	Collinare-Montuosa
Contursi Meteo	Contursi Terme	125430	17255	149	40.6758	15.2519	Nord Orientale	Alto e Medio Sele	Montuoso-Collinare
Auletta	Auletta	113820	11267	194	40.5516	15.4280	Centro Orientale	Tanagro	Montuosa-Collinare

Le serie storiche sub-giornaliere dei dati di precipitazione cumulata sono state scaricate in formato “.csv” e sono state sottoposte ad un pre-processing preliminare al fine di renderle idonee per gli scopi del presente lavoro. In particolare, le misure grezze contenute nei files “.csv” sono state riorganizzate in forma matriciale (mediante il software *Excel*) e successivamente elaborati nell’ambiente di calcolo *Matlab*. Durante la fase di processamento ed elaborazione dei dati eseguita in *Matlab*, sono state effettuate alcune operazioni di controllo sulle serie, adottando in maniera arbitraria (ma razionale) un criterio di rimozione degli errori grossolani, secondo il quale vengono epurate dalla serie le misurazioni che ricadono al di sotto ed al di sopra di determinati valori di soglia. Più precisamente, sono stati classificati come valori fisicamente impossibili ed improbabili, rispettivamente, i valori di precipitazione negativi (< 0 mm) e quelli al di sopra di una soglia massima pari a 50 mm in 10 minuti (scelta in maniera arbitraria ma ragionevole). Tale valore soglia è stato definito sulla scorta delle indicazioni fornite dall’Organizzazione Mondiale della Meteorologia, secondo le quali un valore di precipitazione viene definito accettabile se non superiore a 500 mm in 24 h.

È importante sottolineare che durante la fase di controllo e rimozione degli errori grossolani dai dati, per il sito di Auletta sono emerse delle anomalie relative all’ultimo anno di campionamento (2020); tali anomalie riguardano alcune successioni di valori di precipitazioni estremamente improbabili in diversi intervalli temporali dell’anno 2020; abbiamo quindi optato per una sostituzione obbligatoria del dato numerico con l’assenza della misurazione (utilizzando la dicitura “*Nan*”) per tutti i valori del 2020 nella medesima stazione. Successivamente, sfruttando l’elevata risoluzione temporale delle serie, abbiamo eseguito delle operazioni di aggregazione dei dati, così da ottenere, per la stessa stazione, diversi data set costituiti da serie temporali a molteplici gradi di risoluzione temporale: per ogni stazione, difatti, oltre al data set di partenza sub-giornaliero ad una risoluzione di 10 minuti, abbiamo ricavato la medesima serie temporale ad una risoluzione di 20 e 30 minuti, 1, 3, 6, 12 (tutte scale sub-giornaliere) e 24 ore (giornaliera).

Dopo aver svolto questi processi di controllo di qualità del dato e di aggregazione degli stessi in funzione di diversi intervalli di tempo, sono stati calcolati una serie di indici climatici (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices* ed *INTENSE Project*). Questi possono essere divisi in diverse categorie, a seconda delle informazioni in *output* che forniscono:

- Vi sono, innanzitutto, gli indici definiti da un valore di soglia fisso, tra i quali rientrano: il numero di giorni con precipitazione intensa (≥ 10 mm di pioggia) nell’anno “R10mm”, il numero di giorni con precipitazione molto intensa (≥ 20 mm) “R20mm”, adattati nel nostro lavoro alle serie storiche giornaliere e sub-giornaliere di 12, 6, 3, ed 1 ora, e il numero di giorni superiori ad un valore nn fissato dall’operatore “Rnnmm” (usato per le serie sub-orarie di 30, 20 e 10 minuti con il valore nn pari a 5 mm per identificare fenomeni piuttosto intensi di pioggia su tempi inferiori all’ora);
- Indici assoluti, quale il valore massimo di precipitazione giornaliera (e nel nostro caso estesa anche agli altri intervalli di aggregazione dei dati) registrata in un anno “Rxn”;

- Gli indici basati sui percentili permettono di valutare l'evoluzione degli estremi climatici moderati, ovvero quegli estremi con un tempo di ritorno generalmente inferiore a un anno (*Klein Tank & Können, 2003*). A differenza degli indici basati su un valore soglia prefissato, quelli basati sui percentili conteggiano le eccedenze rispetto a valori soglia definiti in termini di frequenza (spesso il 10%), calcolati sulla distribuzione degli eventi nel periodo climatologico di riferimento. Poiché i valori soglia utilizzati per il calcolo delle eccedenze sono specifici della serie climatica in esame, gli indici basati sui percentili sono rappresentativi del clima locale e permettono inoltre di confrontare risultati ottenuti in regioni diverse. Gli indici di precipitazione basati sui percentili sono la precipitazione nei giorni molto piovosi "R95p" e la precipitazione nei giorni estremamente piovosi "R99p". Gli indici R95p e R99p sono espressi in millimetri di pioggia e rappresentano la somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori rispettivamente al valore soglia del 95esimo e del 99esimo percentile. In questo caso specifico i percentili, ed i conseguenti indici, sono calcolati su tutte le serie temporali aggregate (su scala giornaliera, sub-giornaliera e sub-oraria) adottando procedure di determinazione (parzialmente arbitrarie ma razionali), sia per i valori soglia del 95esimo e 99esimo sia per gli indici stessi (*Schar et al 2016*), differenti a seconda della risoluzione temporale dei dati.
- Alcuni indici non rientrano in nessuna delle categorie precedenti, ma permettono di avere un quadro completo dell'evoluzione degli estremi di precipitazione; questi sono l'indice annuale di precipitazione totale "PRCPTOT" e l'indice di intensità di pioggia "SDII".

Si elencano di seguito (Tabella 2.2) l'insieme dei vari indici adoperati nell'elaborato, tenendo in considerazione le eventuali modifiche subite (rispetto alle formulazioni originali) per un loro adattamento al set di dati utilizzato nel seguente lavoro:

Tabella 2.2. Identificativo, nome, definizione matematica ed unità di misura degli indici estremi di precipitazione utilizzati nell'analisi delle serie temporali per vari intervalli di aggregazione.

ID	NOME INDICE	DEFINIZIONE	UNITA' DI MISURA
Rxn	Massimo annuale di precipitazione giornaliera, sub-giornaliera (12, 6, 3, 1 ora) e sub-oraria (30, 20 e 10 min.)	Valore massimo annuale di precipitazione giornaliera, sub-giornaliera (12, 6, 3, 1 ora) e sub-oraria (30, 20 e 10 min.)	mm
R10mm	Numero annuale di giorni ed ore (12, 6, 3 e 1) con precipitazione intensa	Numero annuale di giorni ed ore (12, 6, 3 e 1) nell'anno con precipitazione ≥ 10 mm	numero di giorni, aggregazioni orarie (12, 6 e 3), ed ore
R20mm	Numero annuale di giorni ed ore (12, 6, 3 e 1) con precipitazione molto intensa	Numero annuale di giorni ed ore (12, 6, 3 e 1) nell'anno con precipitazione ≥ 20 mm	numero di giorni, aggregazioni orarie (12, 6 e 3), ed ore
R5mm	Numero annuale di ore (12, 6, 3 e 1) e minuti (30, 20 e 10) con soglia precipitazione stabilita in maniera arbitraria	Numero annuale di ore (12, 6, 3 e 1) e minuti (30, 20 e 10) nell'anno con precipitazione ≥ 5 mm	numero di aggregazioni orarie (12, 6 e 3), ore e minuti (30, 20 e 10)
SxII	Intensità annuale di pioggia giornaliera, sub-giornaliera (12, 6, 3 e 1 ora) e sub-oraria (30, 20 e 10 min.)	Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni, ore (12, 6, 3 e 1) e minuti (30, 20 e 10) piovosi nell'anno (definiti come giorni ed ore con precipitazione ≥ 1 mm; minuti con $\text{prec} \geq 0.5$ mm)	mm/giorno, mm/ore (12, 6, 3 e 1), mm/minuti (30, 20 e 10)
PRCPTOT	Totale annuale di precipitazione giornaliera	Totale annuale di precipitazione nei giorni piovosi (con precipitazione ≥ 1 mm)	mm
R95p	Precipitazione estreme nei giorni, nelle ore (12, 6, 3 e 1) e nei minuti (30, 20 e 10)	Somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere, orarie e sub-orarie superiori al 95 percentile (per i giorni e le ore il 95 perc. è determinato su tutta la serie; per 1 ora solo sulle ore piovose ≥ 1 mm; per i minuti solo su quelli piovosi ≥ 0.5 mm)	mm
R99p	Precipitazione particolarmente estreme nei giorni, nelle ore (12, 6, 3 e 1) e nei minuti (30, 20 e 10)	Somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere, orarie e sub-orarie superiori al 99 percentile (per i giorni e le ore il 99 perc. è determinato su tutta la serie; per i minuti solo su quelli piovosi ≥ 0.5 mm)	mm

Sebbene siano stati applicati tutti gli indici di precipitazione sopracitati alle serie storiche adoperate nell'elaborato, nella presentazione dei risultati (Sezione 3), si è optato per una selezione degli output grafici

che ne sintetizzano le principali evidenze. In particolare, saranno riportati i risultati conseguiti per i seguenti indicatori:

- Indici R10mm e R20mm per gli intervalli di aggregazione 24 h, 12 h, 6 h, 3 h e 1 h e R5mm per 30, 20 e 10 minuti;
- Indici R95p ed R99p per tutti gli intervalli di aggregazione temporale dei dati. In questo caso è doveroso precisare che:
 1. Per i dati a 24, 12, 6 e 3 ore, il 95esimo percentile, e l'indice ad esso relativo R95p, sono stati calcolati sulle serie storiche complete (senza alcun filtraggio relativo ai giorni o alle ore piovose con precipitazione ≥ 1 mm);
 2. Per i dati a 1 ora, il 95esimo percentile, e l'indice ad esso relativo R95p, è stato calcolato sulle sole ore piovose con precipitazione ≥ 1 mm.
 3. Per i dati a 24, 12, 6, 3 e 1 ora, il 99esimo percentile, e l'indice ad esso relativo R99p, sono stati calcolati sulle serie storiche complete (senza alcun filtraggio relativo ai giorni o alle ore piovose con precipitazione ≥ 1 mm);
 4. Infine per i dati a 30, 20 e 10 minuti, sia i due percentili sia i due indici sono stati calcolati tenendo conto solo dei minuti piovosi con precipitazione ≥ 0.5 mm.

Inoltre, saranno mostrati anche i risultati ottenuti dall'applicazione degli indici Rxn e SxII, per descrivere in maniera più completa il regime pluviometrico dei siti d'indagine. Le serie temporali degli indicatori appena illustrati sono state analizzate, infine, mediante il test non parametrico di *Mann-Kendall* (Ferri 2018, Mann 1945 & Kendall 1975) mediante il pacchetto "Mann_Kendall" di *Fatichi, 2009*), con l'intento di ricercare eventuali tendenze statisticamente significative.

3. Risultati ottenuti e commenti

Prima di discutere i risultati ottenuti, è doveroso precisare che sulla robustezza degli stessi pendono una serie di incertezze, a causa di una serie di aspetti a cui si è fatto cenno nelle sezioni precedenti e di cui si fornisce di seguito una sintesi:

- Innanzitutto, le serie storiche di precipitazione cumulate ad altissima risoluzione (10 min.) adoperate nel presente studio sono state soggette ad un controllo di qualità volto solo a rintracciare l'eventuale presenza di errori grossolani, per il momento, non sono stati applicati test di consistenza spaziale, volti a rilevare l'eventuale presenza di *outliers*. Inoltre, per ragioni legate alla limitata disponibilità di misure sub-giornaliere, le stazioni selezionate non coprono in maniera uniforme l'area di indagine (provincia di Salerno);
- La lunghezza delle serie (di soli 14 anni) non è sufficiente per trarre indicazioni aventi consistenza climatologica;

Alla grande mole di output ottenuti, per esigenze di sintesi, abbiamo deciso di selezionare i risultati maggiormente rappresentativi della variabilità pluviometrica osservata a scala sub-giornaliera, con particolare riferimento agli eventi precipitativi intensi, molto intensi, estremi e particolarmente estremi. Per provare ad osservare frequenza ed intensità di questi fenomeni, sulle tre scale temporali di riferimento (giornaliera, sub-giornaliera e sub-oraria) abbiamo selezionato i seguenti output grafici, rispettivamente per l'aggregazione temporale dei dati a 24 ore, 3 ore e 10 minuti (Figure da 3.1 a 3.6).

In Figura 3.1 possiamo osservare gli andamenti annuali degli indici R10mm (per precipitazioni intense), R20mm (per precipitazioni molto intense), R95p (per precipitazioni estreme) ed R99p (per precipitazioni particolarmente estreme) a scala giornaliera. Ciò che sembra emergere, da un'attenta ispezione manuale dei grafici, è una tendenza negativa (diminuzione) relativa agli eventi precipitativi intensi o molto intensi che si verificano nell'arco delle 24 ore per il periodo di campionamento scelto; il trend negativo sembrerebbe essere più pronunciato per gli eventi intensi o molto intensi (indici R10mm ed R20mm), rispetto a quelli estremi e particolarmente estremi, che risultano nel complesso stazionari nella loro evoluzione temporale. Osservando anche i dati presenti nella Figura 3.2, relativi ai valori degli indici Rxn (massimo annuale di precipitazione) e SxII (intensità media annuale delle precipitazioni) sempre riferiti ad una scala temporale giornaliera, emerge il comportamento ondulatorio e tendenzialmente stazionario di queste serie storiche, sebbene si evidenzino, alla

stregua di quanto mostrato dagli indicatori presentati in figura 3.1, una interessante periodicità di circa 3-4 anni.

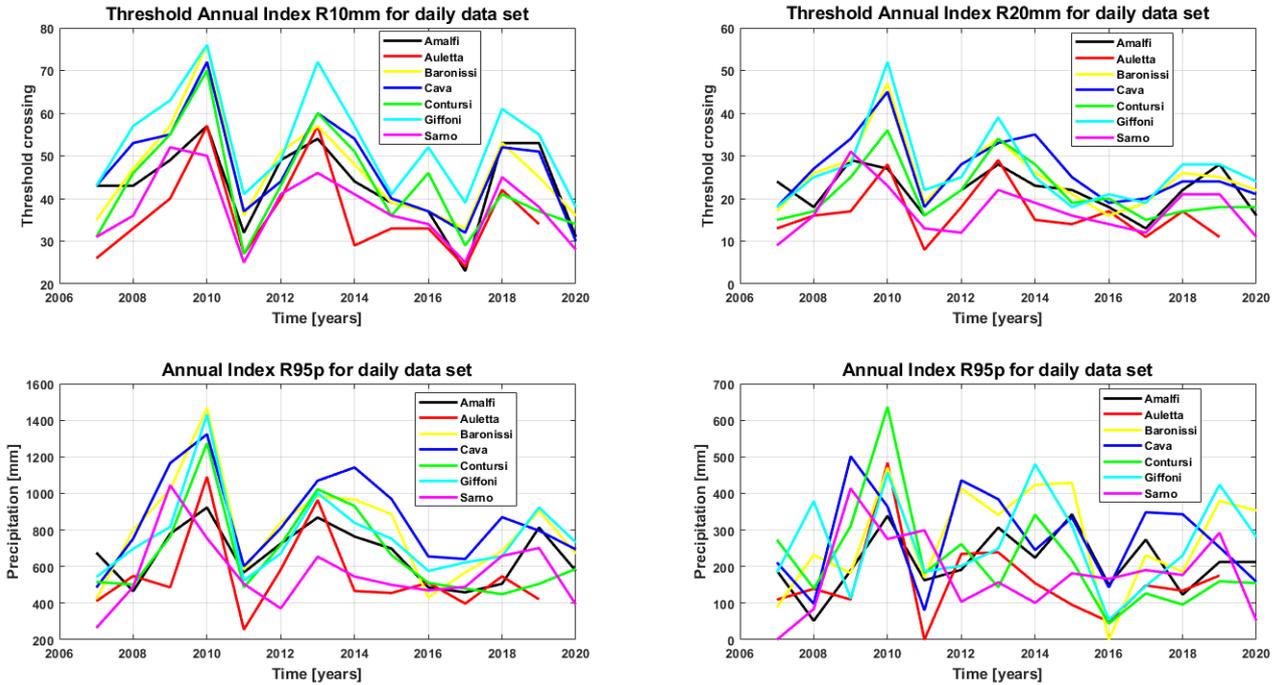


Figura 3.1. Andamenti annuali degli indici giornalieri R10mm (giorni piovosi), R20mm (giorni molto piovosi), R95p (precipitazioni totali annuali nei giorni molto piovosi) e R99p (precipitazioni totali annuali nei giorni estremamente piovosi).

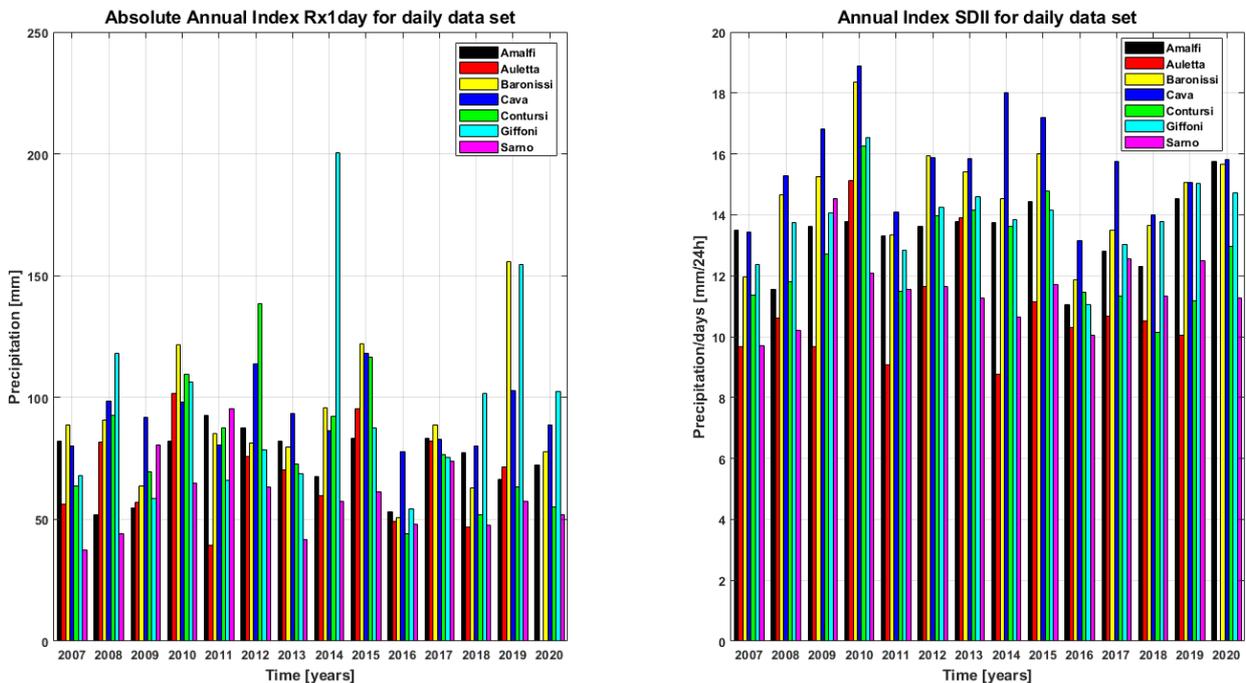


Figura 3.2. Andamenti annuali degli indici Rx1day (massimo annuale giornaliero di precipitazione) e SDII (intensità annuale media delle precipitazioni giornaliera) per le sette stazioni analizzate per il periodo di campionamento.

Nella Figura 3.3 osserviamo invece le medesime evoluzioni degli indici R10mm, R20mm, R95p ed R99p, ma su una scala sub-giornaliera (ogni 3 ore). In questo caso si può notare come, aumentando la risoluzione temporale, il comportamento delle curve sembra tendere maggiormente alla stazionarietà. Emerge una tendenza negativa più marcata nel grafico relativo all'andamento dell'indice R95p, che denuncia una possibile tendenza alla diminuzione, nel tempo, dei fenomeni di pioggia estremi che si verificano in un arco temporale di 3 ore.

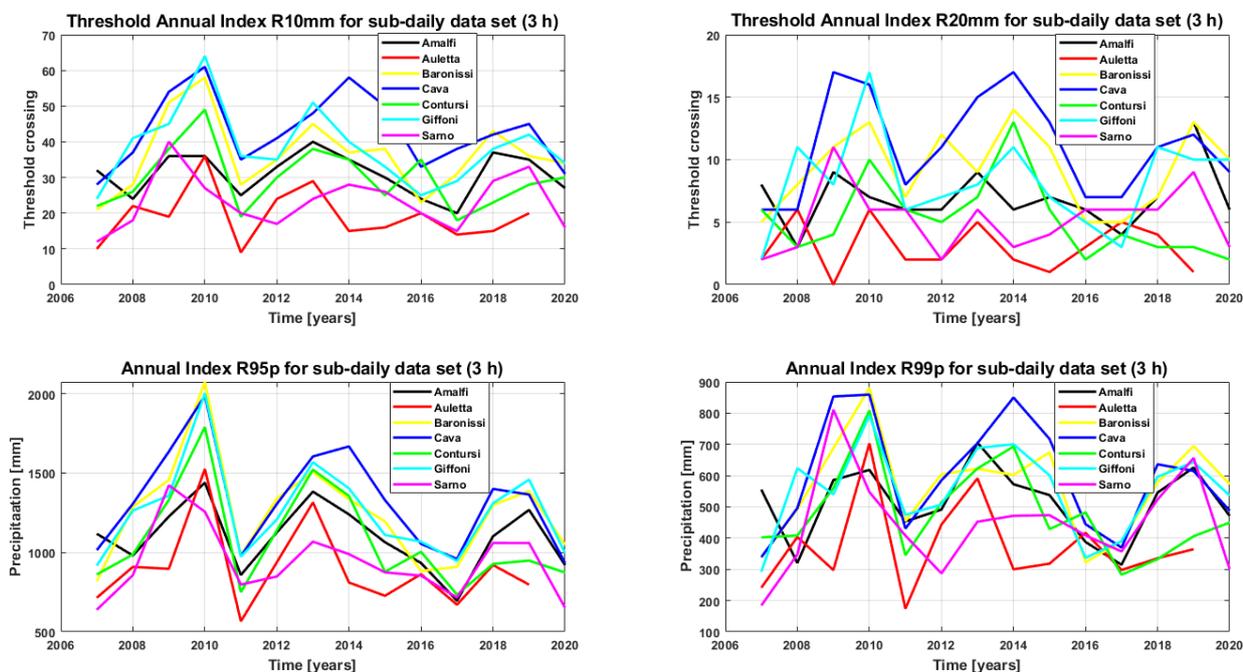


Figura 3.3. Andamenti annuali degli indici sub-giornalieri R10mm (3 ore piovose), R20mm (3 ore molto piovose), R95p (precipitazioni totale annuale nelle 3 molto piovose) e R99p (precipitazioni totale annuale nelle 3 ore estremamente piovose).

Il comportamento evolutivo delle serie tendenzialmente periodico e stazionario (simile a quello riscontrato nel caso precedente) è evidenziato anche nella Figura 3.4 dai valori degli indici Rxn e SxII.

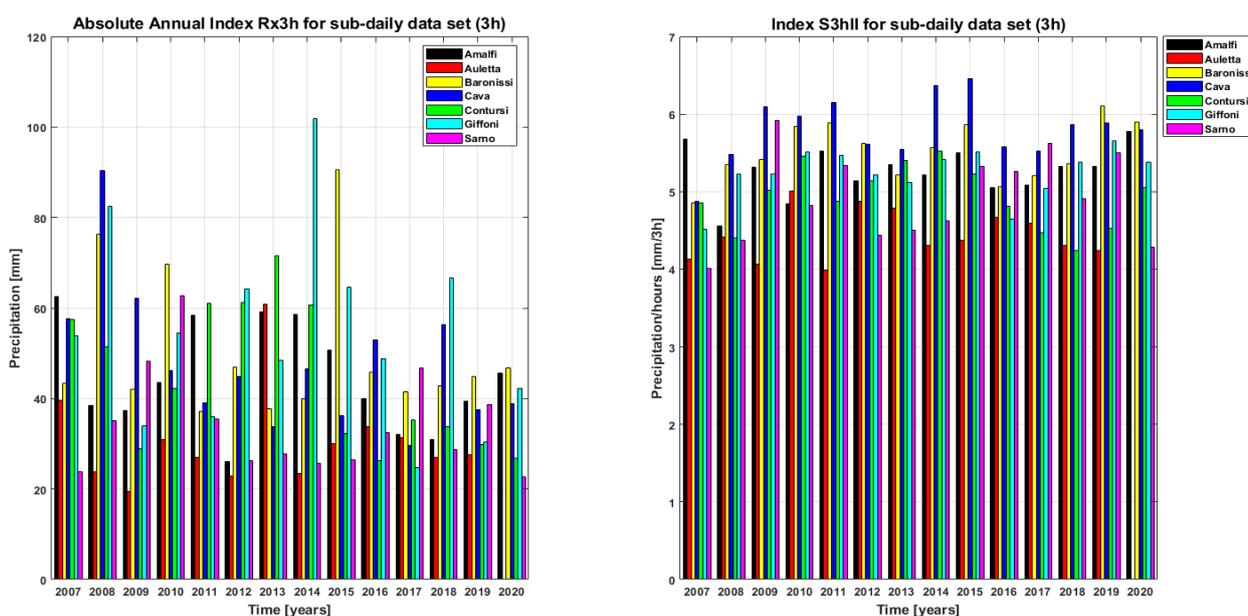


Figura 3.4. Andamenti annuali degli indici Rx3h (massimo annuale ogni 3 ore di precipitazione) e S3hII (intensità annuale media delle precipitazioni ogni 3 ore) per le sette stazioni analizzate per il periodo di campionamento.

In Figura 3.5, portando la risoluzione temporale a 10 minuti, analizziamo invece lo sviluppo temporale degli indici R5mm (soglia a 5mm scelta in maniera arbitraria per precipitazioni molto intense su intervalli sub-orari), R95p ed R99p (con il calcolo dei percentili e degli indici su intervalli piovosi ≥ 0.5 mm, vedi il paragrafo 2). Possiamo notare come, man mano che aumentiamo la risoluzione temporale, l'evoluzione delle curve sembra tendere sempre di più ad una stazionarietà (vedi anche i valori degli indici Rxn e SxII della Figura 3.6); difatti anche da un'analisi grafica (più qualitativa) delle curve, risulta impossibile determinare alcuna tendenza, ma anche da questi estimatori si osserva il carattere oscillatorio del regime pluviometrico con un periodo tra i 3 e 4 anni.

Da un confronto complessivo di tutte e tre le figure emergono però anche altre considerazioni piuttosto interessanti:

- Per prima cosa si può osservare come, su scale temporali maggiori (risoluzione a 24 ore ad esempio), l'orografia ed il posizionamento geografico delle stazioni influenzino le misurazioni di precipitazione. Difatti ragionando sulle cumulate giornaliere possiamo vedere come, sia dai grafici sia dai valori presenti nelle tabelle, i vari indici siano particolarmente elevati per quelle stazioni che si trovano o ad altitudini maggiori (Giffoni Valle Piana posta a quasi un km di quota, vedi paragrafo 2), o in posizioni maggiormente esposte a *pattern sinottici* che determinano con più frequenza eventi precipitativi sul nostro territorio (es. Cava de Tirreni posta sopravvento alle correnti umide di natura atlantica);
- Viceversa possiamo notare come, man mano che la risoluzione temporale aumenta, i fattori orografici e geografici, pur essendo sempre determinanti, presentano un'influenza meno marcata nel computo dei valori degli indici; una plausibile spiegazione potrebbe risiedere nel fatto che, più aumentiamo la risoluzione temporale, più andiamo ad osservare eventi la cui intensità (specie se particolarmente elevata) è riconducibile ai cosiddetti *scrosci* (piogge molto intense della durata massima di qualche ora), la cui estrema variabilità non è ascrivibile alla sola orografia o posizionamento geografico della stazione, ma dipendente anche da altri fattori.
- Gli output grafici relativi all'indice per gli eventi precipitativi estremi R99p, mostrano un comportamento prevalentemente oscillatorio ed una marcata stazionarietà nell'evoluzione temporale (assenza di trend); l'esito di questa applicazione, oltre a poter dipendere dalla brevità delle serie storiche, potrebbe essere riconducibile anche al fatto che gli indici basati sui percentili sono fortemente influenzati dalla climatologia locale, amplificando notevolmente la variabilità dei risultati tra le varie stazioni.

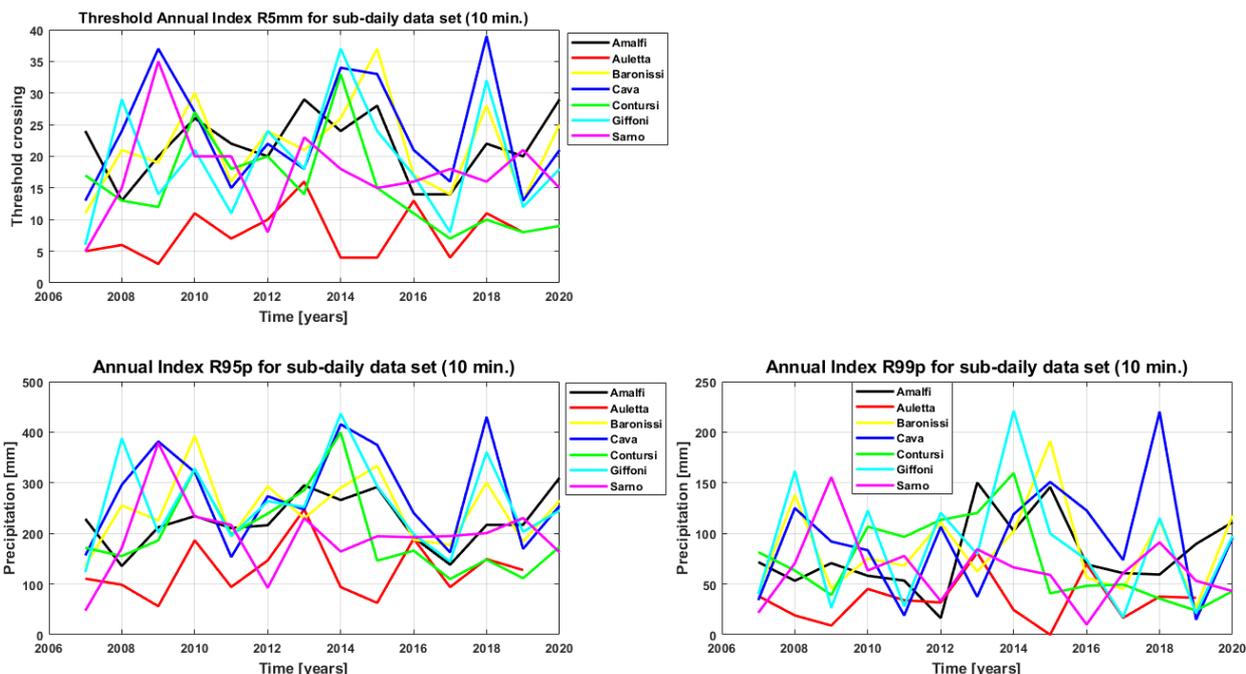


Figura 3.5. Andamenti annuali degli indici sub-giornalieri R5mm (10 minuti molto piovosi), R95p (precipitazioni totale annuale nei 10 minuti molto piovosi) e R99p (precipitazioni totale annuale nei 10 minuti estremamente piovosi).

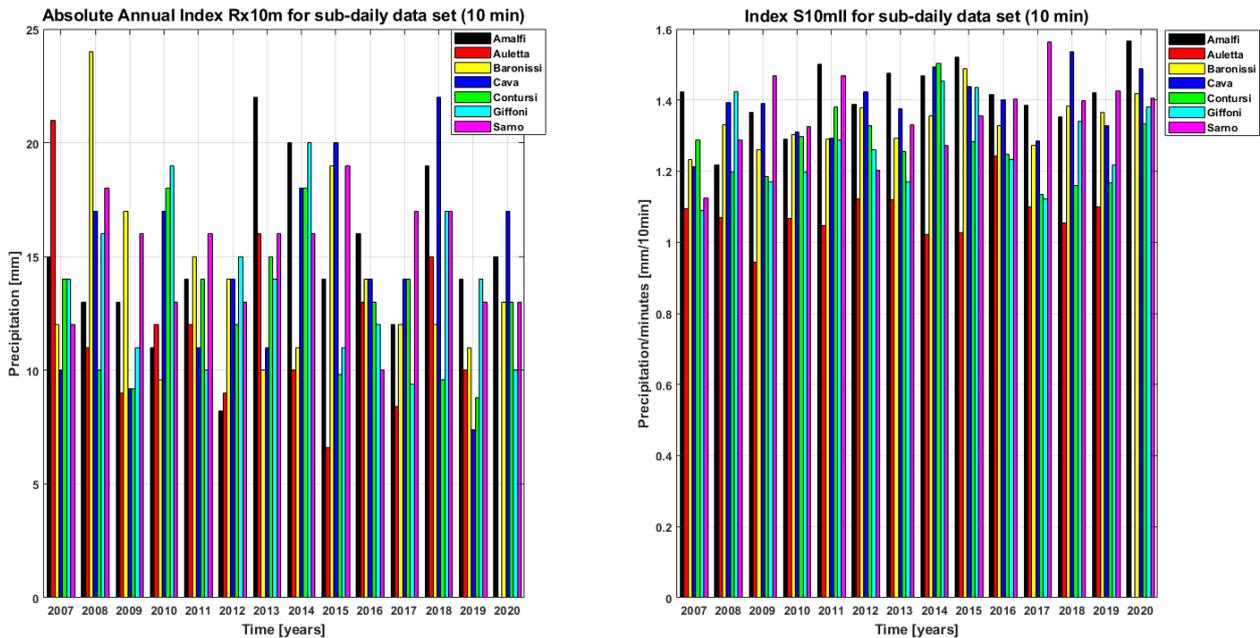


Figura 3.6. Andamenti annuali degli indici Rx10m (massimo annuale ogni 10 minuti di precipitazione) e S10mII (intensità annuale media delle precipitazioni ogni 10 minuti) per le sette stazioni analizzate per il periodo di campionamento.

Prima di passare alle conclusioni, terminiamo la nostra analisi con i risultati ottenuti dall'applicazione del *Test di Mann-Kendall* ai vari indici adoperati per questo elaborato, per osservare una loro eventuale tendenza; come già accennato all'inizio di questo paragrafo, la significatività e robustezza statistica dei risultati forniti dal test risulta estremamente discutibile, in quanto tale procedura è generalmente applicata a serie storiche più estese. Ad ogni modo, per la quasi totalità degli indici sottoposti ad investigazione (alle tre risoluzioni temporali di 24 ore, 3 ore e 10 minuti, espone nell'elaborato), con un livello di significatività del 95%, il risultato dei vari test è stato quello di non rigetto dell'ipotesi nulla, ovvero assenza di trend (cosa che era lecito aspettarsi e che in parte confermerebbe ciò che abbiamo osservato precedentemente nei grafici); fanno eccezione solo 2 indici alla risoluzione di 10 minuti, S10mII (per i siti di Sarno e Baronissi) e R5mm (per la stazione di Contursi), per i quali l'ipotesi nulla è stata rigettata, ma non siamo in grado di formulare una tesi valida a favore di questo risultato (eventuale presenza di un trend positivo o negativo) per tutte le incognite precedentemente accennate.

4. Conclusioni

Come più volte accennato nei precedenti paragrafi, al netto di una serie di diverse problematiche relative alla limitata estensione temporale e spaziale del data set disponibile, i risultati ottenuti in questo lavoro portano comunque ad una serie di riflessioni (che possono essere approfondite e successivamente validate in futuri progetti):

1. Dall'analisi dei dati delle serie storiche a 24 e 3 ore, si osserva una tendenza alla riduzione dei fenomeni intensi di precipitazione durante l'intervallo di campionamento (2007-2020); dell'andamento della frequenza di occorrenza delle piogge intense, molto intense, estreme e particolarmente estreme negli intervalli di aggregazione più piccoli mostra invece un comportamento meno dipendente dal tempo;
2. A prescindere dall'intervallo di aggregazione temporale, gli indicatori esaminati mostrano un'oscillazione periodica (di circa 3-4 anni) meritevole di approfondimento nei lavori futuri tramite un'analisi di correlazione con la variabilità atmosferica di grande scala sintetizzata dalle teleconnessioni maggiormente influenti sulle vicende meteorologiche mediterranee.
3. L'orografia territoriale ed il posizionamento geografico delle stazioni assumono notevole importanza nella fase di valutazione dei risultati, sia per le serie giornaliere sia per quelle sub-giornaliere.

I risultati di questo lavoro, pur avendo carattere preliminare e pur essendo il frutto della disamina di un numero limitato di stazioni e di brevi serie temporali, costituiscono senz'altro un punto di partenza per studi futuri, volti ad esplorare la variabilità pluviometrica a scale temporali sinora poco esplorate, come quella sub-giornaliera o sub-oraria. Al fine di conseguire risultati più robusti e significativi, è necessario innanzitutto (i) inglobare un numero più elevato di serie temporali (estendendo la ricerca di dati utili oltre i confini della Provincia di Salerno), nonché (ii) sviluppare una procedura di controllo di qualità più completa ed accurata che includa anche test di omogeneizzazione. Inoltre, i lavori futuri dovranno contemplare anche il ricorso a nuovi indicatori, che consentano di descrivere in maniera ancora più completa il regime pluviometrico alle scale temporali sub-giornaliere.

Bibliografia

- Alexander, L., Fowler, H., Bador, M., Behrangi, A., Donat, M., Dunn, R., Funk, C., Goldie, J., Lewis, E., Rogé, M., Seneviratne, S. & Venugopal, V. (2019) *On the use of indices to study extreme precipitation on sub-daily and daily timescales*, Environ. Res. Lett. 14 (2019) 125008 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab51b6>.
- Blenkinsop, S., Lewis, E., Chan, S., Fowler, H.J. (2016) *Quality control of an hourly rainfall dataset and climatology of extremes for the UK*, International Journal of Climatology, DOI:10.1002/joc.4735.
- Blenkinsop, S., Fowler, H.J., Barbero, R., Chan, S.C., Guerreiro, S.B., Kendon, E., Lenderink, G., Lewis, E., Li, X.-F., Westra, S., Alexander, L., Allan, R.P., Berg, P., Dunn, R.J.H., Ekström, M., Evans, J.P., Holland, G., Jones, R., Kjellström, E., Klein-Tank, A., Lettenmaier, D., Mishra, V., Prein, A.F., Sheffield, J., Tye, M.R. (2018) *The INTENSE project: using observations and models to understand the past, present and future of sub-daily rainfall extremes*, Adv. Sci. Res., 15, 117- 126, DOI: 10.5194/asr-15-117-2018.
- Ferri E. (2018) *Variabilità spaziale e temporale degli estremi di precipitazione sub-giornalieri osservati in Emilia-Romagna*, Tesi di laurea in Modellistica Idrologica, Alma Mater Studiorum - Università Di Bologna.
- Fowler, H., Lewis, L., Blenkinsop, S., Pritchard, D., Guerreiro, S., Villalobos Herrera, R. & Becker, A. (2020) *A Quality-Controlled Global Sub-daily Precipitation Dataset and Sub-daily Precipitation Indices*, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-20501 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-20501>, 2020.
- Kendall, M.G. (1975) *Rank Correlation Methods*, 4th Edition, Charles Griffin, London.
- Klein Tank, A.M.G. and Konnen, G.P. (2003) *Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99*. Journal of Climate, 15, 3665-3680. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:TIODT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIODT>2.0.CO;2).
- ISPRA (2013) *Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia*, ISPRA, Stato dell'Ambiente 37/2013 ISBN 978-88-448-0599-9.
- ISPRA (2016) *Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione*, ISPRA, Stato dell'Ambiente 66/2016 ISBN 978-88-448-0780-1.
- Lewis, E., Quinn, N., Blenkinsop, S., Fowler, H.J., Freer, J., Tanguy, M., Hitt, O., Coxon, G., Bates, P., Woods, R. (2018) *A rule based quality control method for hourly rainfall data and a 1km resolution gridded hourly rainfall dataset for Great Britain*, CEH-GEAR1hr. Journal of Hydrology, 564, 930-943, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.07.034.
- Lewis, E., Fowler, H.J., Alexander, L., Dunn, R., McClean, F., Barbero, R., Guerreiro, S., Li, X.-F. & Blenkinsop, S. (2019) *GSDR: A global sub-daily rainfall dataset*, Journal of Climate, DOI:10.1175/JCLI-D-18-0143.1.
- Lewis E, Pritchard D., Villalobos-Herrera R., Blenkinsop S., McClean F., Guerreiro S., Schneider U., Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Rustemeier E. & Fowler H.J. (2021) *Quality control of a global hourly rainfall dataset*, Environmental Modelling and Software 144 (2021) 105169.
- LIFE MASTER ADAPT *Linee guida, principi e procedure standardizzate per l'analisi climatica a la valutazione della vulnerabilità a livello regionale e locale*, LIFE15 CCA/IT/000061.
- Mann, H.B. (1945) *Nonparametric Tests against Trend*, Econometrica, 13, 245-259 doi.org/10.2307/1907187

- Maugeri, M., Brunetti, M., Garzoglio, M. & Simolo, C. (2015)** *High-resolution analysis of 1 day extreme precipitation in Sicily*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 2347–2358, 2015 www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/15/2347/2015/ doi:10.5194/nhess-15-2347-2015.
- Poschlod, B., Ludwig, R. & Sillmann, J. (2021)** *Ten-year return levels of sub-daily extreme precipitation over Europe*, Earth Syst. Sci. Data, 13, 983–1003, 2021 <https://doi.org/10.5194/essd-13-983-2021>.
- Schär, C., Ban, N., Fischer, E., Rajczak, J., Schmidli, J., Frei, C., Giorgi, F., Karl, T., Kendon, E., Klein, Tank, A., O’Gorman, P., Sillmann, J., Zhang, X. & Zwiers, F. (2016)** *Percentile indices for assessing changes in heavy precipitation events*, Climatic Change (2016) 137:201–216 DOI 10.1007/s10584-016-1669-2.