



# **LIFE SEC ADAPT PROJECT**

*Upgrading Sustainable Energy Communities in  
Mayor Adapt initiative by planning Climate  
Change Adaptation strategies*

## **CURRENT BASELINE ASSESSMENT REPORT**



**Municipality of Pesaro**

*Servizio Risorse e Sviluppo*

*Ambiente - Energia*

**LIFE SEC ADAPT**  
**LIFE14 CCA/IT/000316**



## **MUNICIPALITY OF PESARO**

### **Working Group - Design and Drafting Report**

*Mauro MORETTI Responsible PO-Ambiente - General Coordinator*

*Annarita SANTILLI Energy Manager - Technical Coordinator*

*Luca PALOMBI Expert of the Communication and the Energy Desk Activities*

*Antonella LEGGIO Expert European Projects and Reporting*

*Raffaella FAZI Expert Administrative and Accounting Functions*

*Alberto NOBILI Responsible of Osservatory-Valerio*

*Luca BARBADORO Clima Change Adaptation Expert*

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>PROGRAMME</b>           | LIFE 2014 - 2020 - Climate Change Adaptation                                |
| <b>PROJECT ACRONYM</b>     | LIFE SEC ADAPT  |
| <b>PROJECT CODE</b>        | LIFE14/CCA/IT/00036   |
| <b>TITLE</b>               | Current Baseline Assessment Report  |
| <b>ACTION/TASK RELATED</b> | A.1   |
| <b>DATE OF DELIVERY</b>    | 31/10/2016  |
| <b>VERSION</b>             | Final   |
| <b>AUTHOR</b>              | Working Group Municipality of Pesaro<br>Analysis realized by Luca Barbadoro |

**LIFE SEC ADAPT**

**LIFE14 CCA/IT/000316**





## Indice

|  |    |
|--|----|
| Executive summary.....   | 4  |
| 1.Introduzione.....  | 7  |
| 1.1.Obbiettivi LIFE SEC ADAPT.....                                       | 7  |
| 1.2.Action A1: definizione del contesto climatico a livello locale.....  | 7  |
| 2.Contesto geografico e climatologico del Comune di Pesaro.....          | 8  |
| 3.Controllo qualità dei dati e approccio metodologico per l'analisi..... | 11 |
| 3.1.Serie dati dell'Osservatorio Valerio.....                            | 11 |
| 3.2.Selezione serie e controllo qualità dei dati.....                    | 13 |
| 3.3.Approccio Metodologico.....  | 18 |
| 4.Trend delle anomalie climatiche.....                                   | 20 |
| 4.1.Anomalie precipitazioni.....   | 20 |
| 4.2.Anomalie Temperature.....  | 22 |
| 5.Indici Climatici Estremi.....  | 26 |
| 5.1.Indici climatici Precipitazione.....                                 | 27 |
| 5.2.Indici climatici Temperature.....                                    | 33 |
| Bibliografia.....  | 44 |





## Executive summary

The “current baseline assessment report” is the first technical milestone to define the *adaptation process* at local level. Each of the 17 Municipalities from Istria and Marche region analyses the recent past climate through the recognition and estimate of climate trends of both mean and extreme values. This report is preparatory to the definition of the future regional climate projection and, therefore, the subsequent phase of risks and vulnerability assessment of local territory.

The analysis are carried out using a common methodology set up by IDA, and regards two main aspect:

- Climate variables Trends, by the trend analysis of main climate variables (Precipitation and Temperature mean, max and min), performed in a non-parametric fashion using the Mann–Kendall rank test (Mann 1945; Kendall 1976) and the Theil–Sen estimator (Sen 1968);
- Climate extremes Indices, selected by the ET SCI core set of 34 indices defined by the WMO Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Sector-specific Climate Indices)

Pesaro Municipality selected as *data series* the data of the Meteorological Observatory Valerio, placed in Pesaro and active since 1871 to monitor and collect local meteo parameters. The dataset used for this report consist of daily data of Precipitation (mm) and Temperature (Tx and Tn, °C), from 1960 to 2015. The data has been pre-analyzed to check both quality (by procedure of R package CLIMPACT2”) and homogeneity (by R package RHtestSTV4) of data. The climate normal is defined, for all municipalities, from 1971 – 2000.

The analysis of **climate trend** from 1961 to 2015, defined as anomalies compared to clima normal 1971 – 2000 (percentages for

Il presente report, realizzato da ognuno dei 17 comuni dell'Istria e della regione Marche, fornisce la valutazione dell'attuale contesto climatico attraverso l'analisi delle tendenze del recente passato di alcuni parametri fondamentali quali temperature e precipitazioni. Tale valutazione è il primo step necessario per lo sviluppo del processo di adattamento a livello locale, è propedeutica alla definizione della proiezione climatica a livello regionale e, quindi, alla successiva fase di valutazione dei rischi e vulnerabilità del territorio locale.

Le analisi sono state svolte sulla base di una metodologia comune proposta dal Partner IDA, e riguarda due aspetti principali:

- analisi dei trend climatici, operata sui principali parametri (precipitazioni e temperatura media, max e min), attraverso il test non parametrico Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1976) e l'estimatore Theil-Sen (Sen 1968);
- calcolo degli indici climatici estremi, selezionati dal set di indici ET SCI definiti dal gruppo di esperti degli indici climatici della Commissione WMO per la Climatologia (CCL)

Per il Comune di Pesaro è stata utilizzata la serie dati del proprio Osservatorio Meteorologico Valerio, attivo dal 1871. Il set di dati utilizzati per questo rapporto è costituito da dati giornalieri di precipitazioni (mm) e temperatura massima e minima (Tx e Tn, ° C), dal 1960 al 2015. I dati sono stati pre-analizzati per verificare sia la qualità (con procedura R CLIMPACT2) e l'omogeneità (con procedura R RHtestSTV4). Il clima normale è definito, per tutti i comuni, come media del periodo 1971-2000.

L'analisi dell'**andamento climatico** 1961-2015 è operata sul confronto delle anomalie rispetto alla normale climatica 1971-2000 (variazioni percentuali per precipitazione e differenza assoluta per le temperature), e mostra i seguenti risultati:





precipitation and difference for temperatures), shown the following result:

Precipitation trend can't be approximated to a monotonic trend, due to its high variability on time; anyway, precipitations seem to increase in all seasons, except for the summer season. The most significant percentage increase would seem verified in spring and winter, while moderate appears the decrease of precipitation in summer.

Temperatures trend (as media, min and max) can be approximated to a monotonic trend. The thermal signal calculated as anomaly on CLINO 1971 - 2000, shows an increase for all seasons in the year, confirming a signal recognized at the Mediterranean basin level. The annual temperature increases vary between 0.033 °C for the min average and 0.045 °C for the max average, with an annual mean average about 0.04 °C. Considering the entire period analysed (1960 - 2015), the increase of temperature varies between 1.8 °C and 2.5 °C, with an annual average about 2.2 °C.

The analysis of **climate extreme indices** from 1961 to 2015, compared to climate normal 1971 - 2000, shown the following result.

#### PRECIPITATION EXTREME INDEXIS:

Even if variation of *daily maximum precipitation* (RX1day index) doesn't show well defined trends, the precipitation index *very wet days* (R95p) shows from the mid-2000s a growing trend of frequencies, similar to the *Simple Daily Intensity Index* (SDII) and the *Very heavy precipitation days* index (R20, precipitation > 20 mm).

The *Consecutive Dry Days index* (CDD) does not show a clear trend, although it is slightly growing.

Therefore it could be concluded that in the last two decades we can observe an intensification of the frequency of the precipitating events, even if not characterized by exceptional quantities of precipitation.

#### TEMPERATURES EXTREME INDEXIS:

The *Frost Days Index* (FD0) marks a tendency to decrease, a reduction of about 2 - 3 days every 10 years with minimum

La tendenza delle precipitazioni non può essere approssimata ad una tendenza monotona, a causa della sua elevata variabilità in tempo; si evidenzia comunque una lieve tendenza positiva ad aumentare in tutte le stagioni, tranne per la stagione estiva. Il più significativo incremento percentuale sembrerebbe verificarsi in primavera e in inverno, mentre moderata appare la diminuzione delle precipitazioni in estate.

La tendenza delle temperature (sia come media, minima e massima) può essere approssimata ad una tendenza monotona. Il segnale termico calcolato come un'anomalia rispetto alla normale climatica 1971 - 2000, mostra un aumento per tutte le stagioni nel corso dell'anno, a conferma di un segnale riconosciuto a livello di bacino del Mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui variano tra 0.033°C per i valori termici minimi e 0.045°C per quelli massimi, con una media annua pari a circa 0.04°C.

Se si considera l'intero periodo oggetto dello studio, l'aumento delle temperature varia tra 1,8°C e 2,5°C circa, con una media annua di circa 2.2°C.

Dall'analisi degli **indici climatici estremi** per il periodo 1961-2015, rispetto alla normale climatica 1971-2000, emergono i seguenti risultati:

Indici estremi di precipitazione: pur non rilevando tendenze ben definite di variazione delle *precipitazioni massime giornaliere* (RX1day), l'indice di *precipitazione nei giorni molto piovosi* (R95p) mostra da metà degli anni 2000 una tendenza alla crescita delle frequenze, similmente all'indice di *intensità di pioggia* (SDII) e l'indice di *precipitazioni > di 20 mm* (R20). L'indice *dei giorni non piovosi consecutivi* (CDD) non mostra una tendenza ben definita, anche se risulta leggermente in crescita. Dunque si potrebbe sinteticamente concludere che si osserva nell'ultimo ventennio una intensificazione della frequenza degli eventi di precipitazione, anche se non caratterizzati da eccezionalità nelle quantità cumulate.

Indici estremi di temperatura: l'indice *giorni di gelo* (FD0) segna una tendenza alla diminuzione (circa 2 - 3 giornate ogni 10 anni con Temperature minime < 0 °C). Più significativa risulta la tendenza di aumento dell'indice di





temperature  $<0$  °C. More significant is the increase of tendency of *hot days index* (SU25), about 8 days every 10 years of days with maximum temperatures above 25 ° C. Also the *Tropical Nights index* (TR20), marks a rising trend about 6 every 10 years.

The tendency of *Cold Days Index* (TX10P) marks a drop of almost 2-3 days every 10 years, and more specifically the *Cold Nights Index* (TN10P) marks a decline of almost 2 days every 10 years.

The *Warm Days Index* (TX90P) shows an increase of more than 2 days every 10 years, and the *Warm Nights Index* (TN90P) always of 2 - 3 days every 10 years.

Another interesting index is the *Very Hot Days Index* (SU30), days with a maximum temperature higher than 30 °C; from 1961 to 2015 Very Hot days have risen about 6 every 10 years, equal to 33 days in 55 years.

Finally, the *Warm Spell Duration Index* (WSDI), that estimates the frequency of heat waves, shows as this index is quickly growing since the 90's.

*Giorni caldi* (SU25), circa 8 giornate in più ogni 10 anni di giornate con Temperature massime superiori a 25 °C. Segna una tendenza in aumento anche l'indice di *Notti Tropicali* (TR20), circa 6 ogni 10 anni. La tendenza dei *Giorni freddi* (TX10P) segna un calo di quasi 2-3 giorni ogni 10 anni, e più specificatamente le *Notti fredde* (TN10P) segnano un calo di quasi 2 giorni ogni 10 anni. Si contrappone quasi specularmente un aumento dei *Giorni caldi* (TX90P) di poco più di 2 giorni ogni 10 anni, ed un aumento delle *Notti calde* (TN90P) di 2 – 3 giorni sempre ogni 10 anni. Un altro indice interessante è *Giorni molto caldi* (SU30), ovvero giornate con Temperatura massima maggiore di 30°C; si desume che dal 1961 al 2015 tali giornate siano aumentate circa 6 ogni 10 anni, vale dare 33 giorni in più in 55 anni. Infine si riporta un ultimo indice di stima dell'andamento della frequenza delle ondate di calore: (WSDI); interessante notare come tale indice sia rapidamente in crescita dagli anni 90.



# 1. Introduzione

## 1.1. Obiettivi LIFE SEC ADAPT

L'obiettivo principale del progetto Life Sec Adapt è contribuire ad incrementare la capacità di resilienza climatica delle aree urbane europee ed agevolare il loro passaggio verso forme di economia a basse emissioni di carbonio ed efficienti nell'uso delle risorse. Gli sforzi per le attività di mitigazione sono necessari al fine di creare condizioni sostenibili che consentano agli enti locali sia l'adattamento ai cambiamenti climatici, che l'adesione e l'attiva partecipazione all'iniziativa quadro europea "Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia", ed integrare in tal modo gli obiettivi climatici nelle politiche e nelle pratiche locali.

Il progetto Life SEC Adapt prevede inoltre l'adozione e l'aggiornamento del modello delle Sustainable Energy Communities – SEC nel supportare il miglioramento della governance climatica, modello che rappresenta una buona pratica per gli enti locali che intendano sviluppare un virtuoso processo di adattamento ai cambiamenti climatici coordinati dalle autorità e dalle agenzie di sviluppo a livello regionale.

## 1.2. Action A1: definizione del contesto climatico a livello locale

In accordo con le linee-guida della Commissione Europea per lo sviluppo di strategie di adattamento (SWD (2013) 134 final), 17 comuni delle regioni Marche (Italia) ed Istria (Croazia) devono definire l'attuale contesto climatico di riferimento (**climate baseline**).

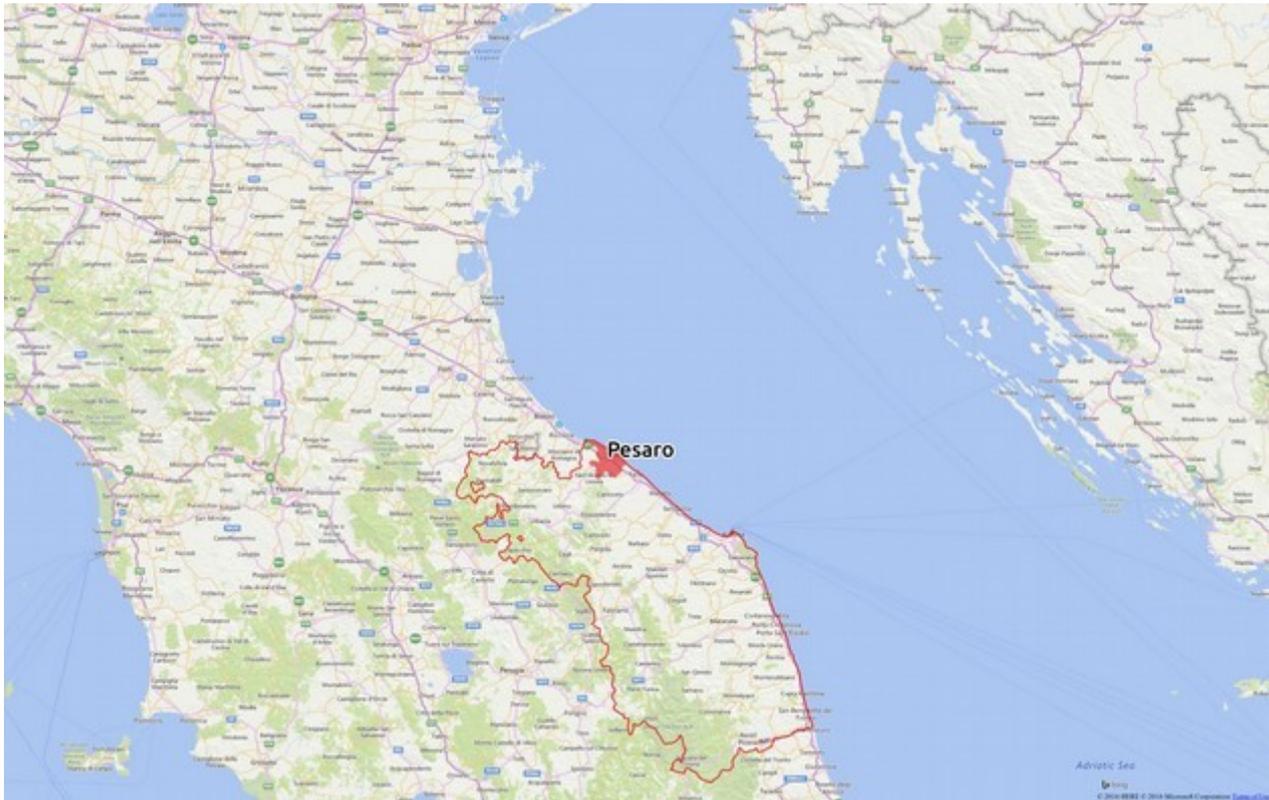
Il contesto climatico per l'adattamento sviluppato da tutti i Comuni, sulla base della metodologia individuata dal partner IDA, comprende l'analisi dei trend climatici a livello locale, al fine di sviluppare una conoscenza più approfondita delle caratteristiche climatiche del proprio territorio.

Attraverso le valutazioni dell'attuale contesto climatico, con l'azione A1 si intende creare una base comune di conoscenza e di comprensione del quadro locale in materia di cambiamenti climatici, che sia utile alle amministrazioni dei Comuni partner del Progetto LIFE SEC ADAPT ad affrontare le possibili sfide ambientali e socio-economiche del prossimo futuro derivanti dal cambiamento climatico.

Il presente Report è inoltre propedeutico alla definizione della proiezione a livello regionale del clima futuro e dunque alla successiva analisi dei rischi e delle vulnerabilità del territorio.



## 2. Contesto geografico e climatologico del Comune di Pesaro



*Inquadramento geografico Comune Pesaro nel contesto Regione Marche*

Il territorio del Comune di Pesaro si estende per circa 126 Km<sup>2</sup>, affacciandosi sul mare Adriatico, ad una Latitudine media di 43.91015° e Longitudine 12.9133°.

La città sorge sulla piana alluvionale del fiume Foglia ed è compresa tra due rilievi miocenici relitti (Colle San Bartolo e Colle Ardizio).

Il territorio del comune di Pesaro ha una morfologia che passa da quota zero sulla linea di costa fino a raggiungere una quota maggiore di 200 metri nelle colline interne (località di Ginestreto, Candelara, Novilara); sulla costa solamente a Casteldimezzo (Colle San Bartolo) si raggiungono tali quote. Il territorio presenta un aspetto geografico-fisico pedecollinare che si sviluppa perpendicolarmente alla linea di costa, a destra e a sinistra delle pianure terrazzate di origine fluviale del fiume Foglia e del torrente Arzilla. La morfologia è invece tipicamente collinare a Nord, tra Gabicce Mare e Pesaro, ripetendosi sulle due dorsali che fanno da spartiacque ai bacini Foglia-Tavollo e Foglia-Arzilla.

I bacini imbriferi corrispondono quasi sempre a superfici limitate, afferenti a corsi d'acqua ad alimentazione per lo più meteorica, ad esclusione dei corsi d'acqua principali (fiume Foglia e torrente Arzilla), seppur anche essi a carattere torrentizio.



**Ricostruzione modello 3d territorio Pesaro**  
(basato su EU - DEM GMES RDA project e immagine BING Aerial)

Il Clima di Pesaro, secondo la scala di Köppen, è classificato come **Cfa**, ovvero clima temperato, umido (con precipitazioni abbondanti in tutti i mesi senza una stagione asciutta) e con estate calda.

Di seguito si propone la normale climatica relativa al periodo 1971 – 2000 elaborata sui dati dell'osservatorio di Pesaro (si veda successivo capitolo 3).

La temperatura media annua è di 13,9 °C (media invernale 5,5°C , primaverile 12,8°C , estiva 22,5°C , autunnale 14,7°C ). Le temperature più basse si registrano in gennaio e febbraio, le più alte in luglio ed agosto; la media annua delle precipitazioni è di circa 790 mm e si verificano per il 33% in autunno, 22% in inverno, 23% in primavera, 22% in estate. Nei valori sono comprese le precipitazioni nevose, le quali non incidono significativamente se non in alcuni eventi rari ed estremi.

**valori normali periodo 1971 – 2000**  
**Osservatorio Valerio Pesaro**

| mese | Media PR | Media Tx | Media Tn | Media Tm | Umidità<br>relativa<br>media (%) | Pressione<br>atmosferica<br>media (hPa) |
|------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------|---|
| Gen  | 49.2     | 7.7      | 1.8      | 4.7      | 81                               | 1019.3                                  |
| Feb  | 55.1     | 9.2      | 2.5      | 5.8      | 77                               | 1017.6                                  |
| mar  | 66.9     | 13.0     | 5.1      | 9.1      | 71                               | 1015.9                                  |
| apr  | 60.4     | 16.6     | 8.1      | 12.4     | 67                               | 1012.6                                  |
| mag  | 56.1     | 21.5     | 12.4     | 17.0     | 65                               | 1014.3                                  |
| giu  | 57.2     | 25.5     | 16.0     | 20.8     | 61                               | 1014.4                                  |
| lug  | 43.8     | 28.5     | 18.5     | 23.5     | 59                               | 1014.5                                  |
| ago  | 69.8     | 28.1     | 18.3     | 23.2     | 64                               | 1014.7                                  |
| set  | 84.2     | 24.0     | 15.2     | 19.6     | 71                               | 1016.3                                  |
| ott  | 82.3     | 18.5     | 11.3     | 14.9     | 78                               | 1017.5                                  |
| nov  | 97.6     | 12.5     | 6.4      | 9.5      | 81                               | 1017.1                                  |
| dic  | 66.7     | 8.8      | 3.1      | 6.0      | 81                               | 1018.3                                  |

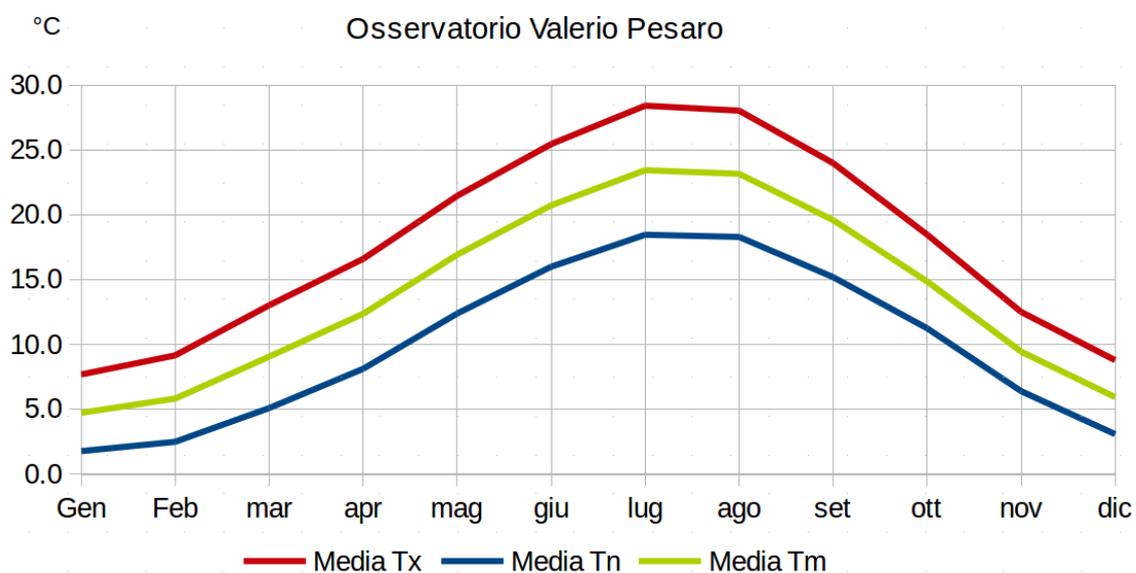
**valori normali periodo 1971 – 2000**



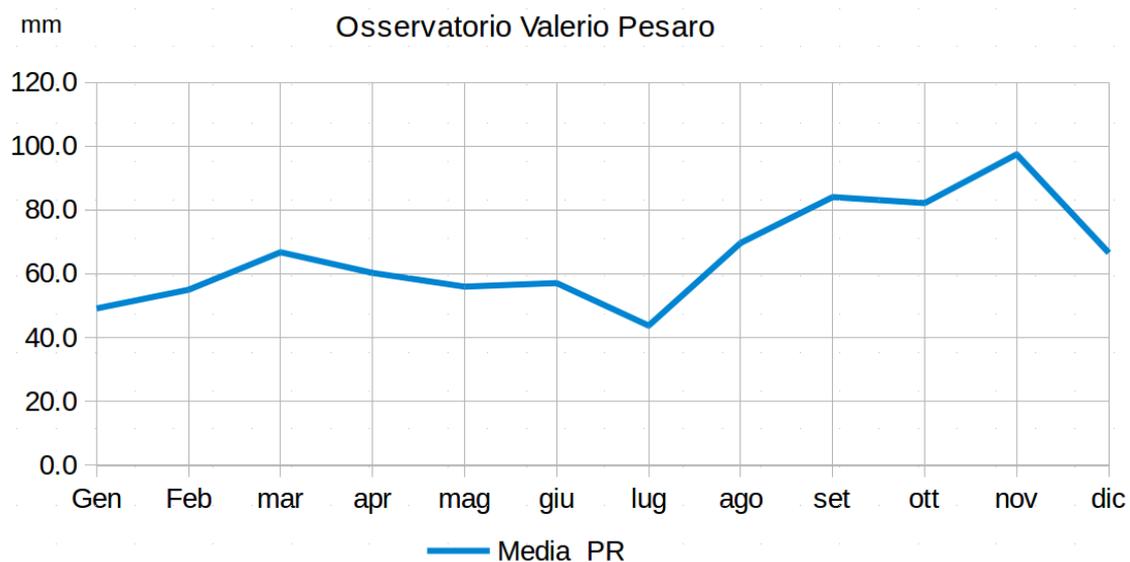


| Osservatorio Valerio Pesaro |          |          |          |          |                            |                                   |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|-----------------------------------|
|                             | Media PR | Media Tx | Media Tn | Media Tm | Umidità relativa media (%) | Pressione atmosferica media (hPa) |
| Inverno                     | 171.0    | 8.6      | 2.5      | 5.5      | 79                         | 1018.4                            |
| Primavera                   | 183.4    | 17.1     | 8.6      | 12.8     | 68                         | 1014.3                            |
| Estate                      | 170.9    | 27.3     | 17.6     | 22.5     | 61                         | 1014.5                            |
| Autunno                     | 264.1    | 18.4     | 11.0     | 14.7     | 76                         | 1017.0                            |
| anno                        | 789.4    | 17.8     | 9.9      | 13.9     | 71                         | 1016.0                            |

### Valori Normali Temperatura periodo 1971 - 2000



### Valori Normali Precipitazioni periodo 1971 - 2000

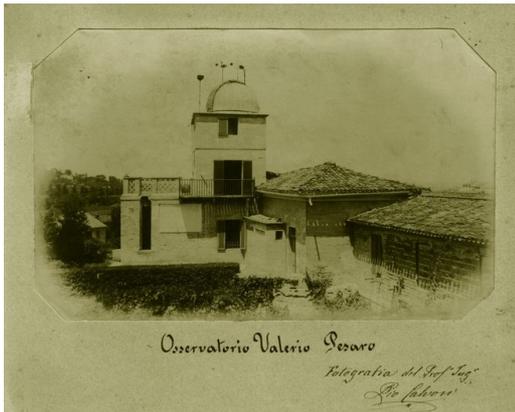




### 3. Controllo qualità dei dati e approccio metodologico per l'analisi

#### 3.1. Serie dati dell'Osservatorio Valerio

Il Comune di Pesaro gestisce l'Osservatorio Valerio, istituito nel 1861 (Regio Decreto n. 745 a firma di Lorenzo Valerio) come osservatorio meteorologico, e successivamente anche sismologico. Il Registro di rilievo dei dati meteorologici, con frequenza giornaliera, risale al 1 gennaio 1871.



*Cartolina fine '800*



*vista odierna Osservatorio Valerio*

La strumentazione termometrica è stata collocata fino al 1875 nella torretta, fino al 1934 presso la finestra meteorica, dal 1935 ad oggi nella capannina meteorica rispondente agli standard UCEA. Le osservazioni meteorologiche sono state registrate con frequenza giornaliera dal 1 gennaio 1871 ad eccezione di due interruzioni:

- dal 15 al 31 Agosto del 1916 (a causa di un forte terremoto)
- dal 5 giugno al 31 dicembre 1944 (causa eventi bellici)

Attualmente (e dal 1935) la stazione meteorologica è posta a 12.9 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 43°54'40"N 12°54'15"E.

La strumentazione di rilievo dei parametri di tipo analogico è stata integrata dal 1994 con una stazione automatica di rilevazione; la strumentazione attualmente in uso comprende: centraline di acquisizione dati MTX (proprietà Comune di Pesaro) e Campbell (in convenzione con IBIMET) con sensori di temperatura, pressione, umidità relativa, precipitazioni, vento, radiazione globale e netta, eliofanìa, evaporazione, temperatura suolo, anemometro sonico e analizzatore gas (CO<sub>2</sub> e vapore acqueo).

Gli strumenti storici utilizzati per i rilievi meteorologici, sismologici, astronomici e magnetici, sono tuttora conservati presso il Valerio; la maggior parte sono esposti in quattro sale rispettando, quando possibile, la collocazione originale ottocentesca.

Sono inoltre attivi protocolli d'intesa con l'Istituto di Biometeorologia del C.N.R. per il laboratorio di Climatologia Urbana e con il Dipartimento di Scienze Pure e Applicate dell'Università "Carlo Bo" di Urbino per la catalogazione e archiviazione degli eventi sismici di interesse provinciale attraverso la rete sismica nazionale centralizzata INGV.



*Sala della Meridiana Osservatorio Valerio con strumentazione originale*

I registri originali delle osservazioni dal 1871 sono conservati presso l'Osservatorio, permettendo il controllo di qualità delle serie prodotte.

Infine, è presente una biblioteca scientifica (con volumi a partire dal '700) e un archivio della corrispondenza scientifica e non tenuta dai direttori del "Valerio".

L'Osservatorio, per quanto riguarda i dati meteorologici, ha aderito alle reti UCEA e Servizio Idrografico Nazionale.

Parte dei dati presenti nei registri dell'Osservatorio sono stati digitalizzati dal personale; si tratta dei seguenti parametri T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub>, T<sub>media</sub>, Precipitazioni cumulate, dal 1871 al 2015. con frequenza giornaliera.

Tali dati afferiscono alla strumentazione digitale dal 2008; per quanto riguarda i dati della temperatura rilevati con strumentazione analogica, si specifica che i dati sono così rilevati :

- T max intervallo 19:00 – 19:00 dal 1932 al 2007 (precedentemente al 1932 T max intervallo 21:00 – 21:00 )
- T min intervallo 14:00 – 14:00 dal 1932 al 2007 (precedentemente al 1932 T max intervallo 09:00 – 09:00 )
- la T media come media T(max), T(min), T(ore 08:00), T(ore 19:00) dal 1932 al 2007 [precedentemente al 1932 come media T(max), T(min), T(ore 09:00), T(ore 21:00)]

Riguardo alle precipitazioni, che si ricorda contemplano anche quelle nevose, l'intervallo di rilievo è 19:00 – 19:00.



### 3.2. Selezione serie e controllo qualità dei dati

Le analisi climatologiche condotte dai comuni coinvolti, considerano serie storiche (1961-2015), su base giornaliera, riferite a 4 variabili climatiche: precipitazione [Pr, mm/giorno], temperatura media [Tm, °C], temperatura minima [Tn, °C] e temperatura massima [Tx, °C]. La temperatura media, non presente nel dataset originale, è stata derivata dalla media aritmetica, tra temperature minima e massima (  $\frac{Tn_{(i)} + Tx_{(i)}}{2}$  ) giornaliera.

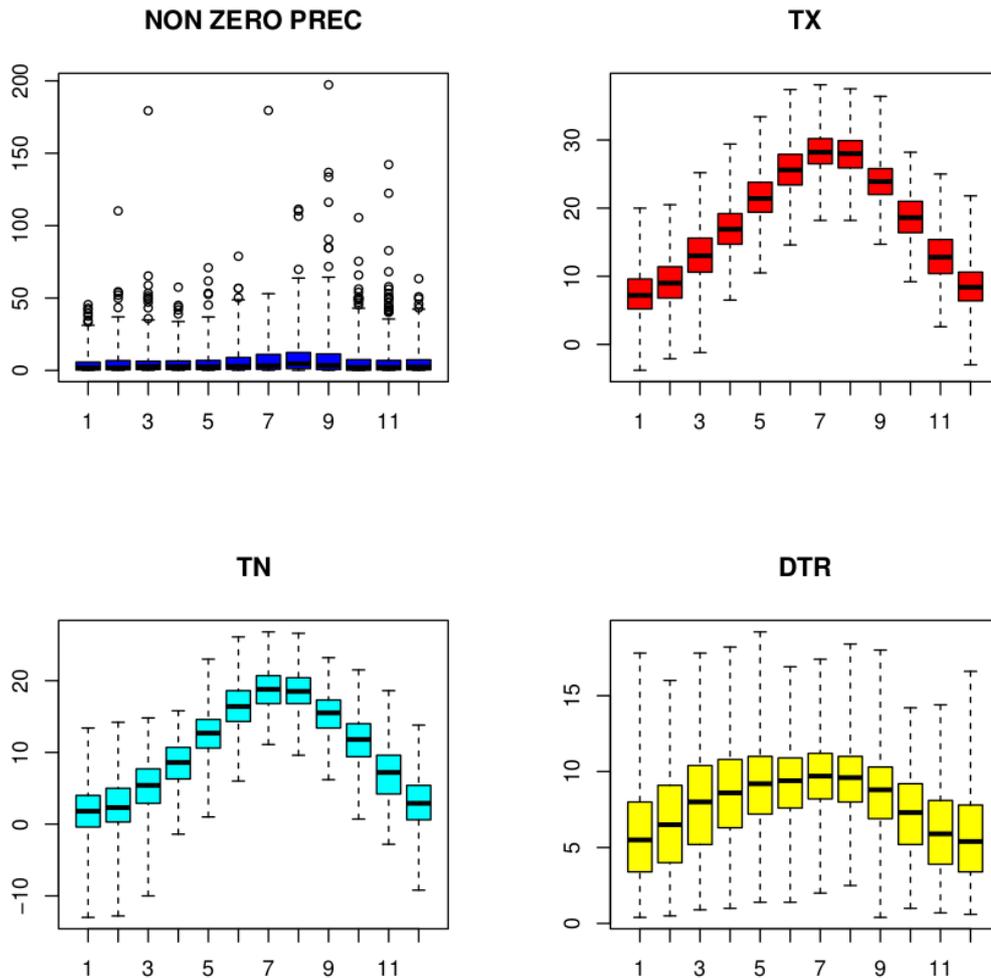
Ai fini della presente analisi sono stati utilizzati i dati relativi ai parametri Tn , Tx e Pr giornalieri dal 1960 al 2015 dell'Osservatorio Valerio, opportunamente pretrattati con le metodologie di controllo di qualità e controllo omogeneità previste dalle linee guida.

Si tratta di una serie dati giornaliera ininterrotta di cui si dispone il dato originale attraverso i registri mantenuti presso l'Osservatorio.

Per il **Quality Control** dei dati meteorologici, si è utilizzato la procedura prevista dal software R Clmpact2 , che esegue una serie di test per rilevare eventuali dati anomali sulla base di alcune soglie (ma che non significa siano errati):

- flatline: presenza di valori ripetuti 4 volte consecutivamente
- rounding: frequenza distribuzione decimali
- duplicates; duplicazione delle date
- jumps: differenza di T tra giorni consecutivi > 20°C
- tmaxmin: presenza di Tx < Tn
- toolarge: valori di precipitazione superiore a 200 mm e Temperature superiori a 50°C
- nastatistics: dati mancanti
- outliers: possibili valori che non rientrano in un range definito su base iterquartile con annesso output grafico “box Series” di seguito proposto.

Il controllo ha permesso di evidenziare alcuni dati anomali, che sono stati successivamente ricontrollati nel registro originale evidenziando alcuni errori di battitura o interpretazione del dato originale; il processo di quality control è stato reiterato a seguito delle correzioni fino ad ottenere il risultato di non rilievo di outliers per quanto riguarda la Temperatura, e di 5 casi sospetti di outliers per la precipitazione, tutti relativi al mese di Dicembre. Dal controllo operato nei registri originali emerge che il mese di dicembre presenta generalmente livelli di precipitazione meno elevati dei dati sospetti, ma non si esclude la possibilità di eventi più significativi come quelli evidenziati (comunque minori come intensità rispetto ad eventi nel resto dell'anno). In conclusione si accettano i dati per procedere al successivo controllo.



*Esempio plot Quality Control “Box Series” CLIMPACT2 dati Osservatorio Valerio*

|                      |                                  |      |     |     |
|----------------------|----------------------------------|------|-----|-----|
| Description:         | Outliers shown in *boxseries.pdf |      |     |     |
| Station:             | Pesaro_1961-2015                 |      |     |     |
| Latitude:            | 43.91                            |      |     |     |
| Longitude:           | 12.9                             |      |     |     |
| ClimPACT2_version:   | 1.2                              |      |     |     |
| Date_of_calculation: | 2016-09-23                       |      |     |     |
| Date                 | Prec                             | TX   | TN  | DTR |
| Prec up              |                                  |      |     |     |
| 1968-12-9            | 43.2                             | 8.8  | 5.2 | 3.6 |
| 1992-12-9            | 63.4                             | 11.4 | 6.4 | 5   |
| 1997-12-1            | 50.9                             | 12.4 | 9.3 | 3.1 |
| 2002-12-4            | 45.8                             | 13.2 | 6.5 | 6.7 |
| 2009-12-14           | 49.6                             | 7.3  | 2.4 | 4.9 |
| TX up                |                                  |      |     |     |
| TX low               |                                  |      |     |     |
| TN up                |                                  |      |     |     |
| TN low               |                                  |      |     |     |
| DTR up               |                                  |      |     |     |
| DTR low              |                                  |      |     |     |

*Output del controllo “Outliers” CLIMPACT2 dati Osservatorio Valerio*





La successiva fase di controllo ha riguardato il **controllo di omogeneità**, eseguito con il pacchetto RHtestV4 proposto dagli esperti nel settore dei cambiamenti climatici – ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices).

Una serie temporale si definisce “omogenea” se la variabilità del segnale dipende esclusivamente da fattori climatici, mentre spesso incidono fattori esterni, anche di natura antropica (cambio strumentazione, spostamento luogo stazione, cambiamento dell'ambiente circostante) che possono influenzare la stima del trend.

Le informazioni che documentano la storia delle stazioni di rilevamento (metadati) costituiscono un importante supporto per lo studio dell'omogeneità di una serie, spesso non presenti nel momento dell'analisi; i dati dell'Osservatorio Valerio sono invece supportati dai registri originali mantenuti presso la struttura.

RHtestSTV4 si basa sul *penalized F test* (Wang, 2008, metodo assoluto che verifica l'autoconsistenza della serie e sul *penalized t test* (Wang et al. 2007, metodo relativo che richiede almeno una serie di riferimento) per la verifica della presenza di breakpoint, ed in caso si riscontrino disomogeneità accertate permette l'aggiustamento della serie rispetto ad un'altra serie di riferimento che si considera attendibile.

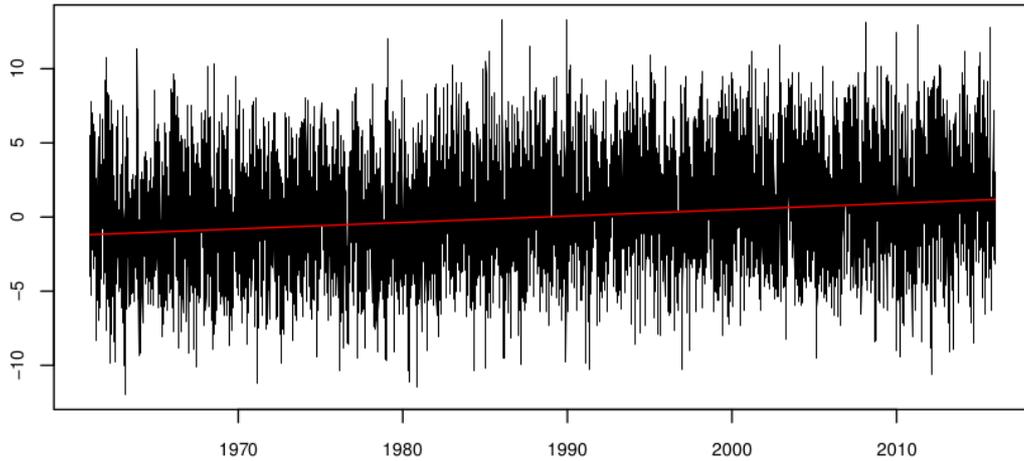
A seconda dei risultati del test statistico ( T test o f test), i breakpoint vengono distinti in: 1) breakpoint statisticamente significativi; 2) breakpoint non statisticamente significativi e quindi da scartare; 3) breakpoint dubbi sulla cui validità si rimanda al giudizio dell'esperto.

La serie dati di Pesaro è stata dunque sottoposta al *penalized F test* , condotto sia sui valori mensili e giornalieri per quanto riguarda le serie dati T massima e T minima, e mensile per la precipitazione (come indicato dalla metodologia, essendo per definizione la precipitazione un fenomeno altamente variabile, la serie giornaliera non è adatta a questo tipo di controllo).

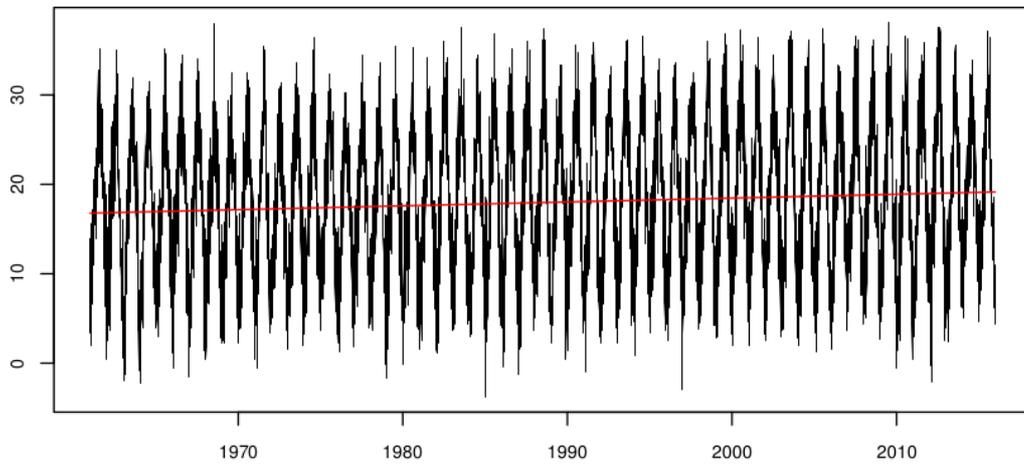
Il risultato mostra un'assenza di breakpoint per la serie T minima e per la serie T massima sia a livello mensile che giornaliero (si riporta un esempio del risultato grafico relativo alla Temperatura massima: la mancanza di breakpoint è evidente dalla mancanza di “salti” nella retta di regressione).



Base anomaly series and regression fit



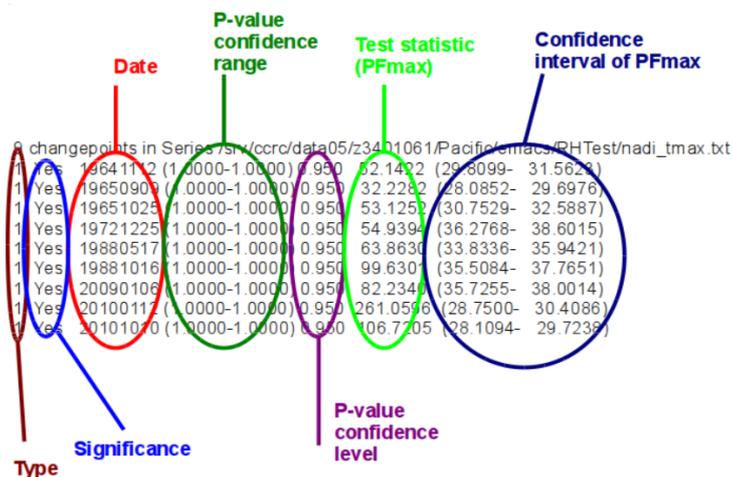
Base series and regression fit



*penalized F test per la serie giornaliera della Tx*

Per la serie mensile di Precipitazione si rileva solo valore dubbio, come di seguito riportato (output RHtestV4 e immagine spiegazione valori campi dell'output):

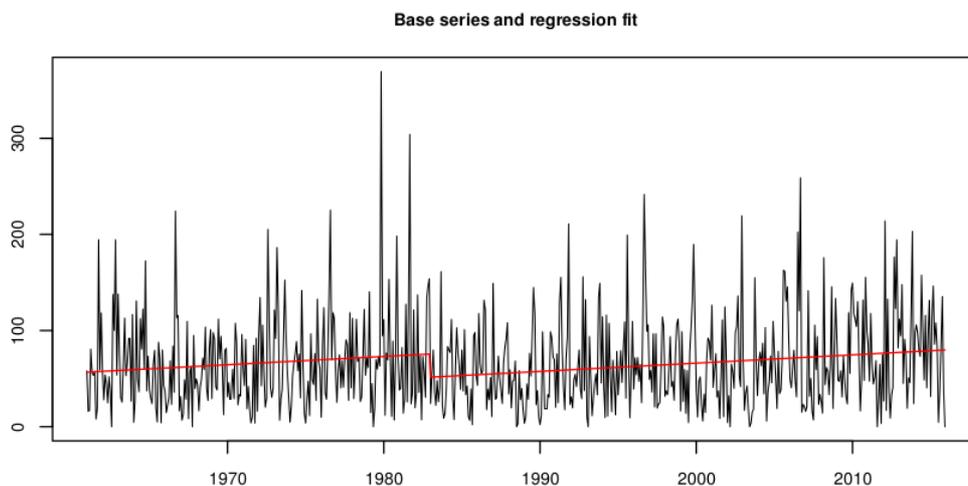
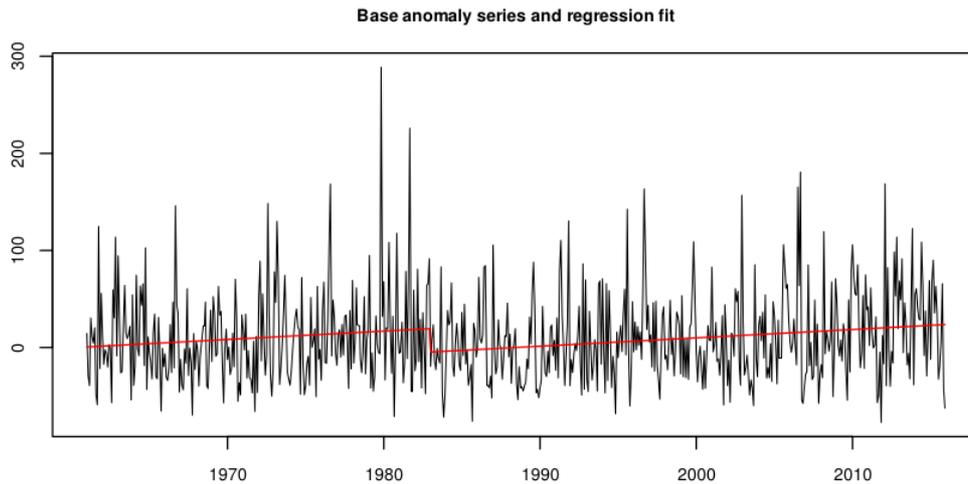
1 changepoints in Series D:/ETCCDI/RHtestv4/Pesaro\_1961\_2015\_prcpMLY1mm.txt:  
 1 ? 19821200 (0.9995-0.9995) 0.950 12.5916 ( 11.2642- 15.1053)





Ciò significa che è stato rilevato solo 1 possibile changepoints, primo campo che è di tipo “Type-1”, secondo campo “?” che è un breakpoint dubbio sulla cui validità si rimanda al giudizio dell’esperto, terzo campo la data , quarto campo l'intervallo di confidenza al 95% del p-value , 5 campo il p-value , le ultime tre colonne il risultato del *PF max statistics* e i relativi intervalli dei confidenza al 95%.

A seguito di verifica con i dati presso il registro storico, e considerando inoltre che il risultato “12.5916” rientra nell'intervallo di confidenza, si conclude che i dati sono da ritenere affidabili e non necessitano di essere ulteriormente processati.



***penalized F test per la serie mensile della Pr***



### 3.3. Approccio Metodologico

Le analisi condotte in ambito locale possono essere metodologicamente suddivise in due ambiti:

- analisi di trend di anomalie annuali e stagionali
- analisi di indici climatici.

La prima fase mira a caratterizzare statisticamente l'evoluzione temporale delle anomalie durante il periodo 1961-2015 relative al periodo di riferimento (1971-2000) per ogni realtà locale. L'anomalia è definita come lo scarto (% per le precipitazioni e °C per temperature) tra la media del singolo anno (o della singola stagione), rispetto alla media del trentennio di riferimento.

La significatività statistica e intensità dei trend, è riassunta da 3 coefficienti: *Tau* e *p\_value* derivanti dal test statistico Mann-Kendall (MK, Mann, 1945 e Kendall, 1975) e la *slope Theil-Sen* (TS) (Yue et al., 2002) (vedi tabelle capitolo 4). Il test MK, è comunemente utilizzato per l'analisi statistica di serie idro-meteo-climatiche. Essendo di natura non parametrica, presenta una particolare flessibilità che lo rende indicato anche per variabili non aventi distribuzione statistica gaussiana (Yue et al., 2002).

La base concettuale del MK è la sua ipotesi nulla, che assume che la serie in analisi non sia caratterizzata dalla presenza di trend. Gli output del test MK sono presentati attraverso due sintetici coefficienti.

Il primo, *Tau* (*S*), rappresenta il valore di correlazione tra la variabile dipendente e indipendente calcolata considerando le relazioni tra tutte le possibili coppie di dati.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

Dove  $X_j$  rappresenta i valori sequenziali della serie e  $n$  la sua lunghezza e dove:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases}$$

Valori positivi di *S* rappresentano un trend crescente e al contrario un valore negativo, un trend decrescente.

Il secondo coefficiente del test MK considerato, consiste nel *p\_value*. La presenza o meno di un trend statisticamente significativo è determinata dal fatto che il *p\_value* sia maggiore (trend non significativo) o minore (trend significativo) del livello di confidenza del test (0.05) determinato a priori.

L'intensità del trend è quantificata attraverso la *slope* (pendenza) di un modello di regressione lineare e un modello di regressione non parametrico *Theil-Sen* (TS) (Yue et al., 2002). Relativamente a quest'ultimo approccio, per evitare ripercussioni negative sull'accettazione o rifiuto dell'ipotesi nulla, determinate dal potenziale carattere auto-regressivo della serie in analisi, la regressione TS è stata precedentemente sottoposta a un processo di “*pre-withening*” con il metodo Yue and Pilon (Yue et al., 2002). Questa tecnica, deriva e successivamente rimuove il valore relativo alla correlazione seriale (lag-1) presente nella serie, per poi calcolare la *slope* secondo l'approccio TS della retta di regressione. Per il calcolo dei due coefficienti relativi al test MK e della *slope* TS si sono utilizzati algoritmi presenti nei pacchetti applicativi “Kendall” e “zyp” del software R.





La seconda fase consiste nel calcolo e nell'analisi di un pacchetto di indici climatici definiti dal team di esperti dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale ([ET-SCI](#)), con il fine di estrapolare informazioni relative all'evoluzione di particolari aspetti del sistema climatico che possono aver grande rilevanza sui sistemi naturali e antropici con particolare enfasi su fenomeni climatici estremi.

Dall'intero set di indici disponibile si è selezionato un subset che si compone di 9 indici riferiti alle temperature e 5 indici riferiti alle precipitazioni.

Gli indici riferiti alle temperature sono principalmente focalizzati a studiare l'evoluzione temporale di valori insolitamente alti o bassi considerando soglie fisiche (valore assoluto) o statistiche (code della distribuzione).

Per le precipitazioni, gli indici sono mirati ad analizzare un potenziale cambiamento del carattere delle precipitazioni, con particolare attenzione agli accumuli annuali derivanti da eventi precipitativi intensi e variazione della lunghezza di periodi secchi.

Il pacchetto del software R “climact2” (WMO, 2014) è stato utilizzato per il calcolo degli indici climatici riportati nel capitolo 5. L'algoritmo utilizzato svolge un controllo preliminare della qualità del dato giornaliero in input. L'algoritmo definisce inoltre per ogni indice i coefficienti di *slope* e *deviazione standard* del modello di regressione lineare applicato e *p\_value* anche in questo caso utile per definire la significatività statistica del trend riferito al determinato indice.



## 4. Trend delle anomalie climatiche

In questo capitolo verranno evidenziati i risultati dell'analisi di trend relativi alle sommatorie annue e stagionali delle precipitazioni totali medie e delle temperature minime, massime e medie per l'intero periodo oggetto dello studio.

Si ricorda che, mentre per le precipitazioni totali (somma di quelle liquide e di quelle solide sciolte o equivalenti liquide), i trend sono stati calcolati sullo scarto percentuale tra la precipitazione annua o stagionale e quella del trentennio di riferimento selezionato (CLINO 1971 – 2000); relativamente alle temperature, essi sono stati calcolati sull'anomalia termica mensile e stagionale, sempre considerando il medesimo trentennio.

Come evidenziato nel cap.3, al fine di verificare l'eventuale presenza di trend in tratti di serie monotone sono stati condotti test di significatività statistica adoperando il classico metodo non parametrico di **Mann Kendall (MK)**; Kendall et al. 1983; Sneyers 1998). Ricordando che nel test MK l'ipotesi nulla,  $H_0$ , è che la serie di valori non contenga un trend significativo - considerando un **p\_value** di 0,05 - tale test è stato applicato previa verifica di assenza di serialità nella successione di valori da analizzare (Von Storch 1995; Zhang et al. 2001). Per valutare il segno del trend si utilizza l'**indice Tau**, per cui in presenza di un tau positivo il trend sarà positivo e viceversa nel caso di un tau negativo. Infine, per quantificare i trend lineari, in termini di pendenza della retta (tasso di variazione), si è fatto ricorso al metodo **Thiel-Sen slope**.

### 4.1. Anomalie precipitazioni

I risultati dell'analisi statistica del trend delle anomalie delle precipitazioni sono riportati nella seguente tabella:

|                  | Mann-Kendall – Tau | Mann-Kendall 2-sided p_value | Thiel-Sen slope |
|------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Annual_Pr</b> | 0.119              | 0.198                        | 0.289           |
| <b>Autumn_Pr</b> | 0.109              | 0.238                        | 0.310           |
| <b>Spring_Pr</b> | 0.166              | 0.073                        | 0.518           |
| <b>Summer_Pr</b> | -0.104             | 0.261                        | -0.400          |
| <b>Winter_Pr</b> | 0.173              | 0.060                        | 0.645           |

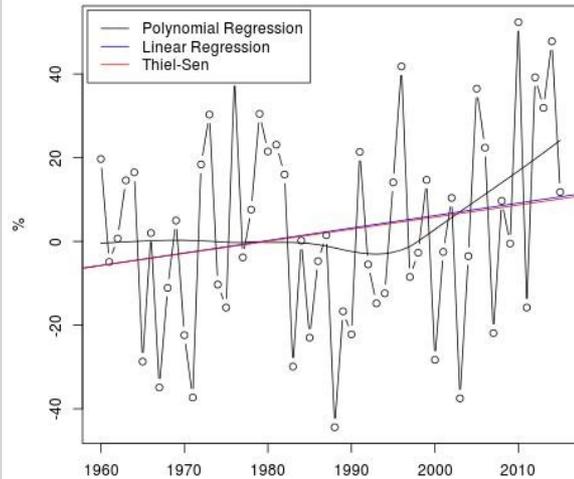
Si evince che le precipitazioni tendono ad aumentare in tutte le stagioni, eccezion fatta per quella estiva. Tuttavia, risulta evidente come i trend appena citati non siano statisticamente significativi ( $p\_value$  sempre  $> 0,05$ ) sebbene i segnali relativi alla stagione invernale e primaverile siano appena al di sopra del valore limite prima citato. Gli incrementi percentuali precipitativi più significativi sembrerebbero verificarsi proprio in primavera ed in inverno mentre moderato appare il decremento estivo.

Seguono i grafici del confronto delle tendenze.

## Trend Anomalie precipitazioni

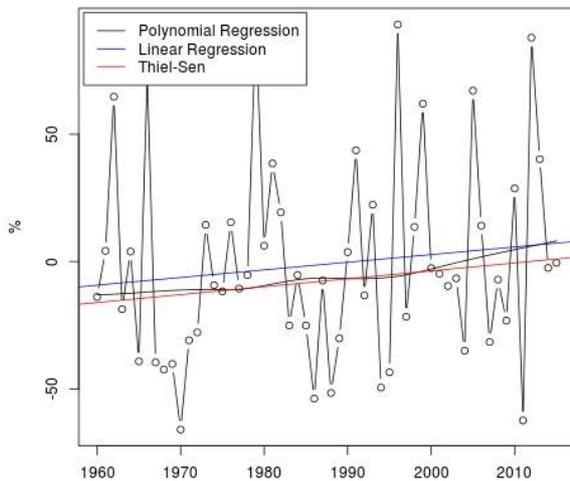
Risulta evidente le differenze tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (Thiel-Sen slope) siano modeste; essi mostrano una quasi perfetta identità per l'anno; sempre per il segnale annuale si nota un comportamento piuttosto articolato della polinomiale che mostra un lieve flesso del segnale a metà degli anni '90 ed un notevole incremento meteorico a partire dal 2000, determinati dalle abbondanti precipitazioni dell'ultimo quinquennio. Tale segnale caratterizza anche la stagione primaverile ed in misura minore quella invernale.

Annual\_Pr Anomaly trend (reference: 1971-2000)



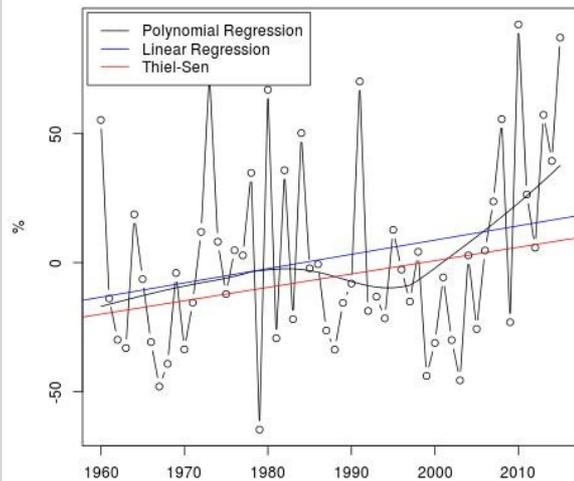
Linear Regression slope: 0.298 | Thiel-Sen Slope: 0.289

Autumn\_Pr Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Linear Regression slope: 0.3 | Thiel-Sen Slope: 0.31

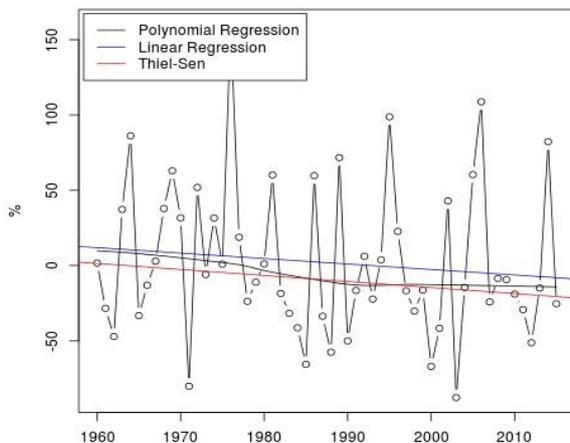
Spring\_Pr Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Linear Regression slope: 0.553 | Thiel-Sen Slope: 0.518

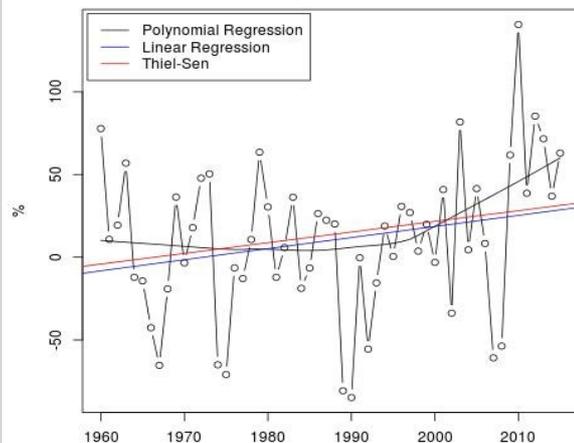
Figura 4a.1

Summer\_Pr Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Linear Regression slope: -0.363 | Thiel-Sen Slope: -0.4

Winter\_Pr Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Linear Regression slope: 0.67 | Thiel-Sen Slope: 0.645



## 4.2. Anomalie Temperature

I risultati dell'analisi statistica del trend delle anomalie delle temperature sono riportati nella seguente tabella:

|                  | Mann-Kendall – Tau | Mann-Kendall 2-sided p_value | Thiel-Sen slope |
|------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Annual_Tm</b> | 0.647              | 0.000                        | 0.039           |
| <b>Autumn_Tm</b> | 0.354              | 0.000                        | 0.028           |
| <b>Spring_Tm</b> | 0.434              | 0.000                        | 0.033           |
| <b>Summer_Tm</b> | 0.641              | 0.000                        | 0.057           |
| <b>Winter_Tm</b> | 0.185              | 0.047                        | 0.019           |
| <b>Annual_Tn</b> | 0.586              | 0.000                        | 0.033           |
| <b>Autumn_Tn</b> | 0.295              | 0.002                        | 0.025           |
| <b>Spring_Tn</b> | 0.387              | 0.000                        | 0.030           |
| <b>Summer_Tn</b> | 0.590              | 0.000                        | 0.050           |
| <b>Winter_Tn</b> | 0.148              | 0.113                        | 0.013           |
| <b>Annual_Tx</b> | 0.657              | 0.000                        | 0.045           |
| <b>Autumn_Tx</b> | 0.366              | 0.000                        | 0.030           |
| <b>Spring_Tx</b> | 0.431              | 0.000                        | 0.040           |
| <b>Summer_Tx</b> | 0.615              | 0.000                        | 0.066           |
| <b>Winter_Tx</b> | 0.273              | 0.004                        | 0.025           |

Il segnale termico relativo al periodo oggetto dello studio - calcolato sull'anomalia relativa al CLINO 1971 – 2000 - mostra un incremento sia per le stagioni che per l'anno, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui variano tra 0.033°C per i valori medi minimi e 0.045°C per quelli massimi, con una media annua pari a circa 0.04°C.

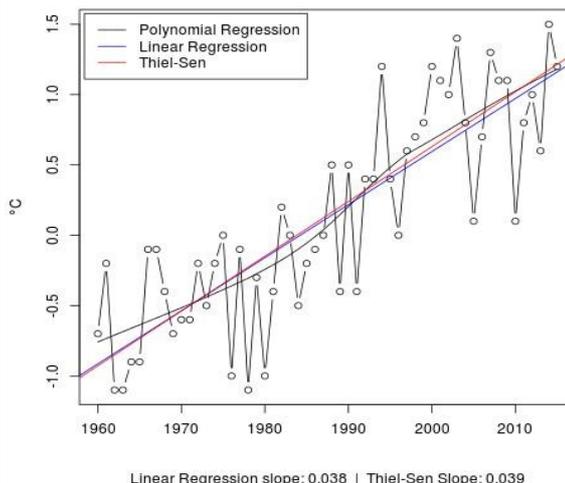
Se si considera l'intero periodo oggetto dello studio, l'aumento delle temperature varia tra 1,8°C e 2,5°C circa, con una media annua di circa 2.2°C. La significatività statistica calcolata è comprovata per tutte e quattro le stagioni e per l'intero anno (p\_value sempre < 0,05), con valori spesso prossimi a zero, a conferma del fatto che la tendenza evidenziata è assolutamente certa.

Anche il segnale termico relativo ai valori minimi mostra una comprovata significatività statistica, ad eccezione di quello relativo alla stagione invernale (p\_value = 0.113) mentre per quanto concerne il segnale relativo alle temperature massime, la significatività statistica è confermata per tutti i cinque i periodi presi in considerazione.

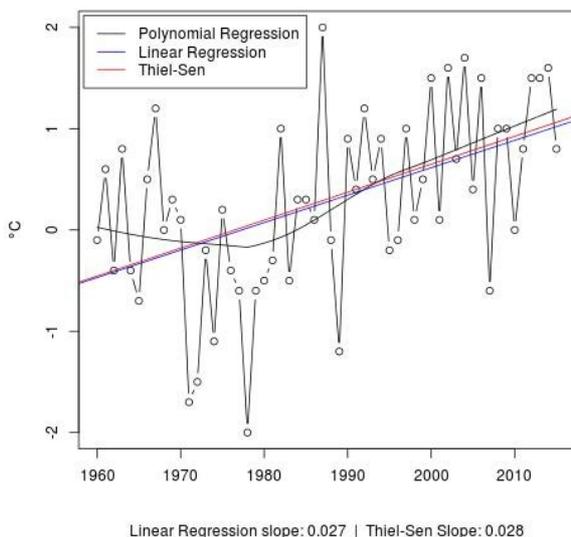
## Trend Anomalie Temperature Medie

Si osserva una quasi assoluta identità nel comportamento delle rette interpolanti mentre le funzioni interpolanti di ordine superiore tendono ad evidenziare per le stagioni equinoziali, un lieve minimo o flesso a cavallo degli anni '80 determinati rispettivamente dagli *outlayers* negativi del 1978 e del 1980. Risulta altresì evidente che nell'ultimo decennio, il segnale della polinomiale non evidenzia aumenti proporzionalmente più intensi rispetto a quelli caratteristici del ventennio precedente, con una tendenza ad un flesso nella stagione estiva.

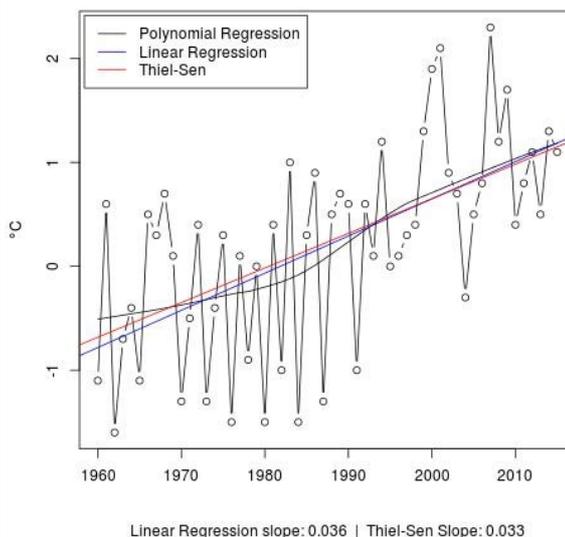
Annual\_Tm Anomaly trend (reference: 1971-2000)



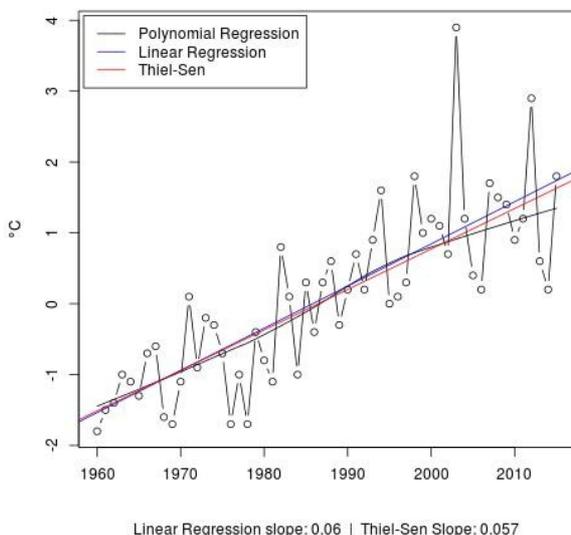
Autumn\_Tm Anomaly trend (reference: 1971-2000)



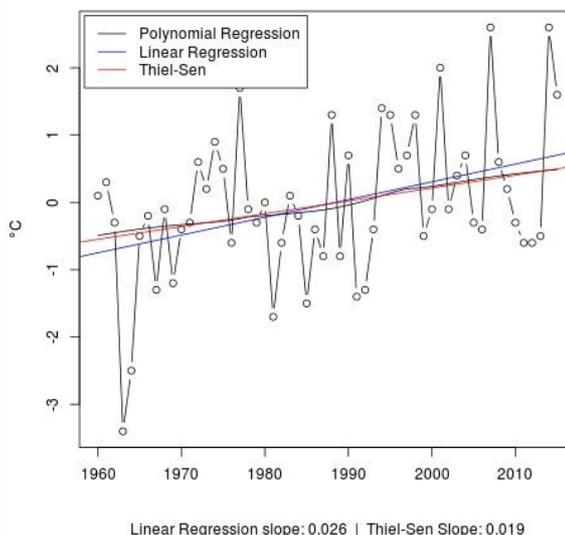
Spring\_Tm Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Summer\_Tm Anomaly trend (reference: 1971-2000)



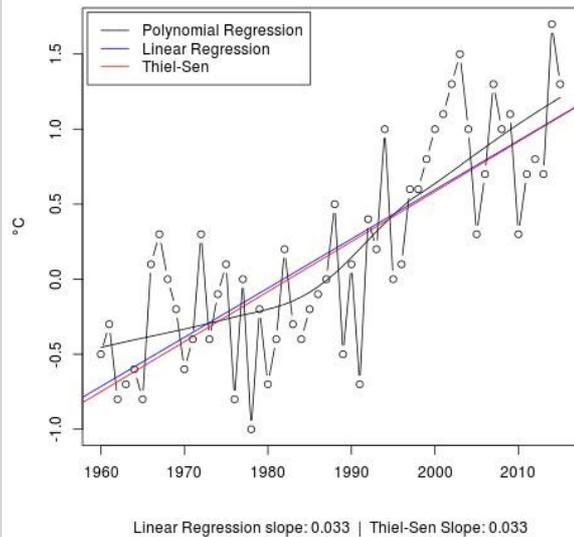
Winter\_Tm Anomaly trend (reference: 1971-2000)



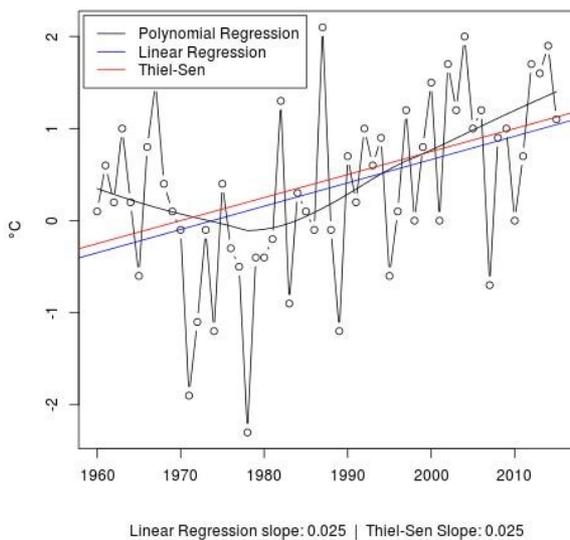
### Trend Anomalie Temperature Minime:

Si osservano scostamenti significativi tra il comportamento delle differenti interpolanti lineari che anzi mostrano sovente una quasi totale identità. Il comportamento dell'interpolante polinomiale evidenzia per l'anno un flesso nella prima metà degli anni '80, causato da annate "sottomeia" e da un successivo intenso incremento termico; tale segnale risulta essere simile nella stagione autunnale - dove si osserva anche un deciso *outlier* negativo nel 1978 - ed in quella primaverile che mostra comunque nell'ultimo decennio numerosi segnali oltre media. Il segnale relativo alle stagioni solstiziali è più equilibrato anche se risulta particolarmente intenso l'*outlier* positivo relativo all'estate del 2003 (quasi 4°C oltre la media del CLINO di riferimento).

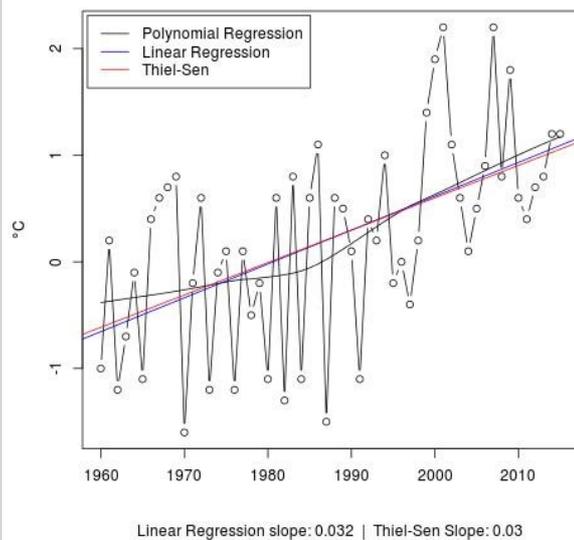
Annual\_Tn Anomaly trend (reference: 1971-2000)



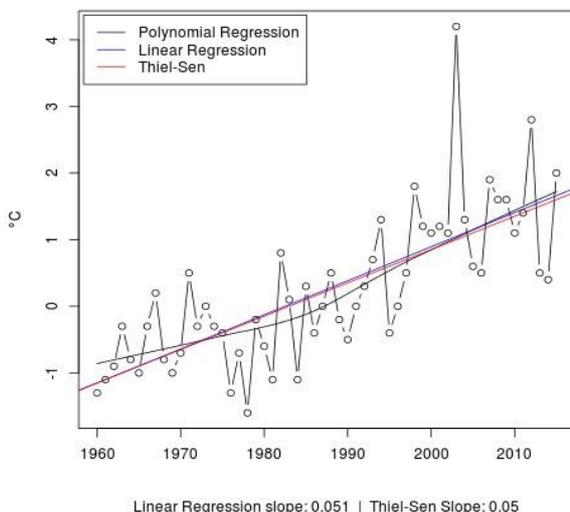
Autumn\_Tn Anomaly trend (reference: 1971-2000)



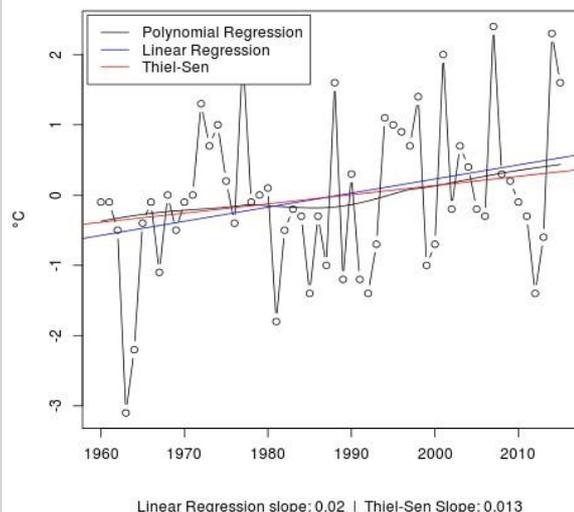
Spring\_Tn Anomaly trend (reference: 1971-2000)



Summer\_Tn Anomaly trend (reference: 1971-2000)

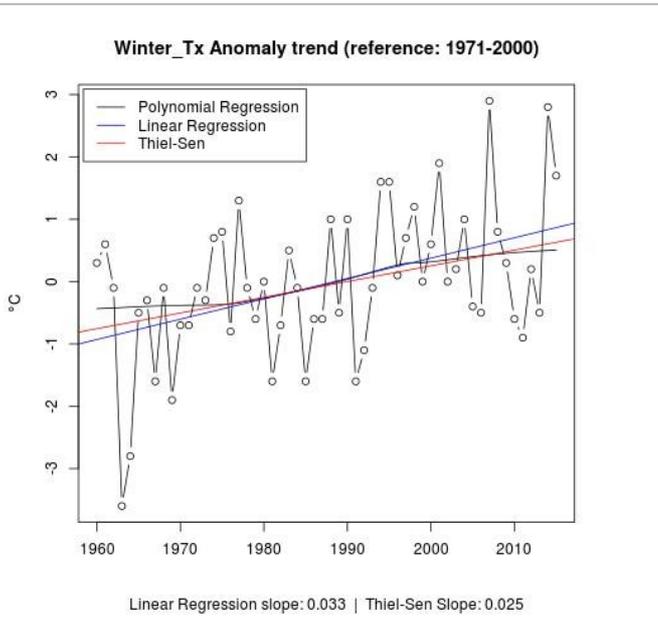
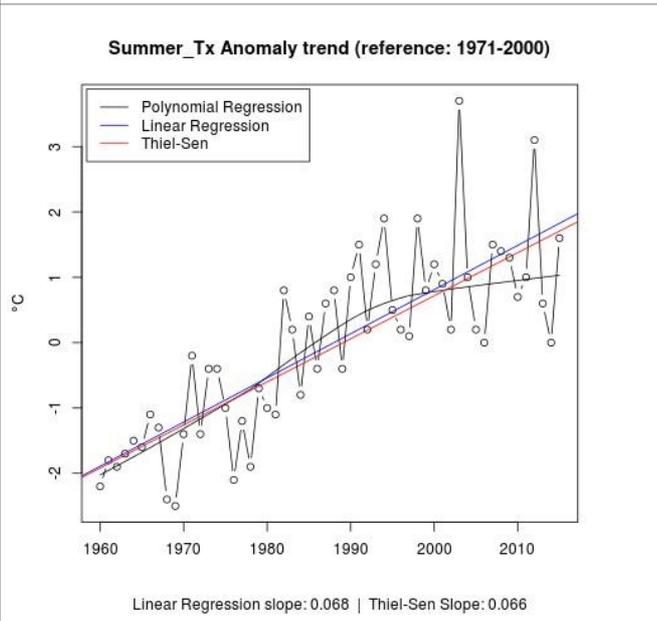
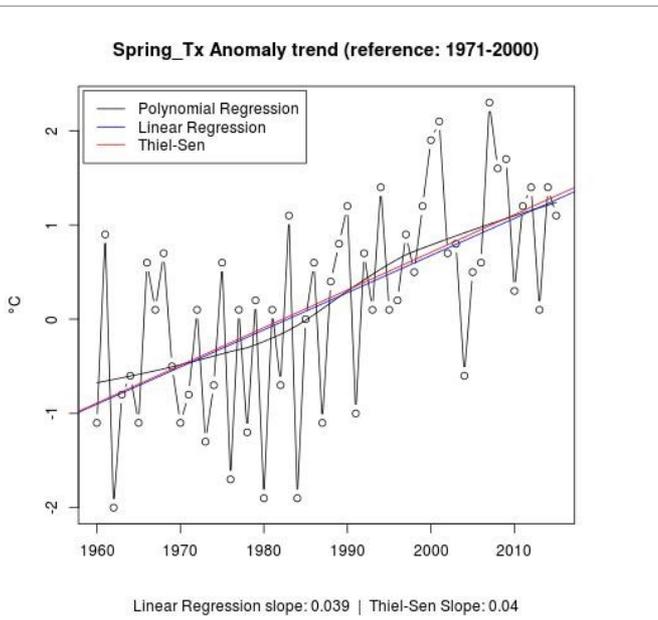
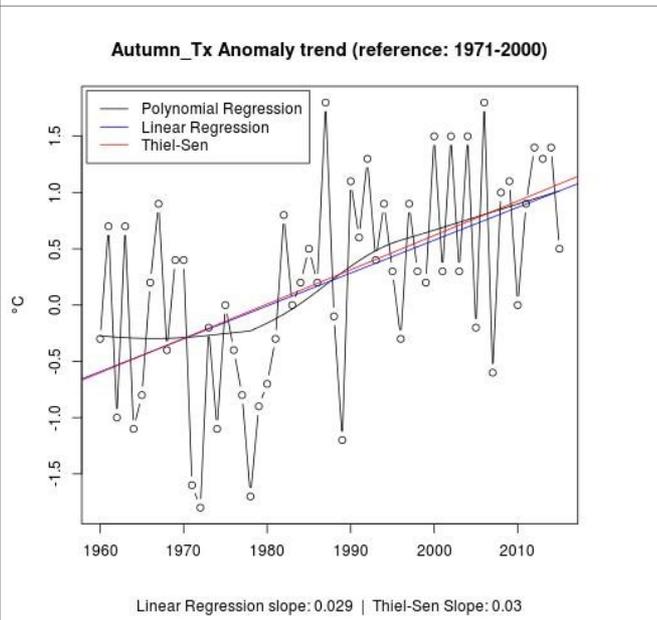
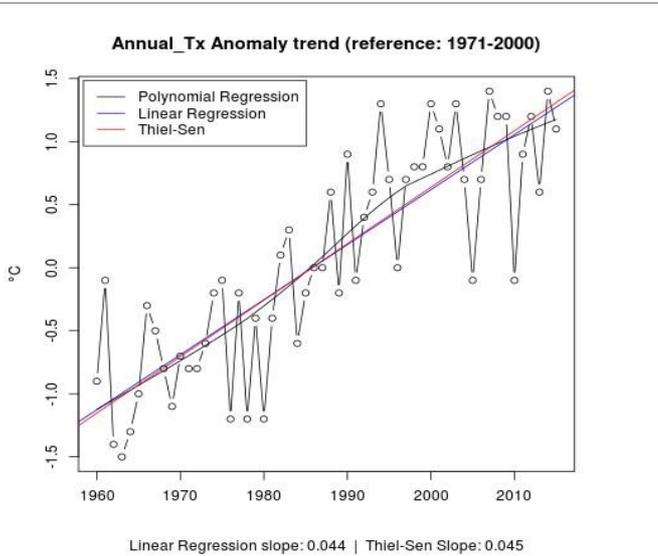


Winter\_Tn Anomaly trend (reference: 1971-2000)



### Trend Anomalie Temperature Massime:

Si osserva che esiste un lieve quanto trascurabile scarto tra il comportamento delle interpolanti lineari ma soprattutto si evidenzia un segnale decisamente interessante. Il comportamento della polinomiale evidenzerebbe - per tutte le stagioni e per l'anno - un rallentamento dell'incremento termico, in contrasto con quanto mediamente avviene per le temperature minime. Tale segnale è deciso per la stagione estiva - dove si osserva un prolungato asintoto orizzontale derivante da un'aumentata variabilità interstagionale; tale caratterizzazione, seppur meno evidente, è riconoscibile anche nella stagione invernale.





## 5. Indici Climatici Estremi

Questo capitolo presenta i risultati dell'analisi degli indici climatici selezionati come rappresentativi per il contesto climatico dei partner del progetto SEC ADAPT.

Si tratta di una selezione degli indici climatici definiti dal team di esperti dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale ([ET-SCI](#)), con il fine di estrapolare informazioni relative all'evoluzione di particolari aspetti del sistema climatico che possono aver grande rilevanza sui sistemi naturali e antropici con particolare enfasi su fenomeni climatici estremi.

Il set di 13 indici, elaborato con il pacchetto del software R "climact2", è suddiviso in indici per la precipitazione e la temperatura; sembrerebbero sufficienti a quantificare l'entità del cambiamento climatico in atto alle nostre latitudini ed i riflessi sul quadro sociale, agricolo e della salute pubblica. Relativamente al bacino mediterraneo, è stato aggiunto il parametro "hot days" number (SU30) che evidenzia i giorni con temperature massime > 30°C.

Per ogni indice è specificato, oltre che il coefficiente angolare della retta interpolante (*slope*) la relativa *deviazione standard* (STD of slope) e il *p\_value*, che si ricorda essere utile per definire la significatività statistica del trend riferito al determinato indice.

I metadati di ingresso al software R "climact2" sono:

|                |               |
|----------------|---------------|
| Station:       | Pesaro        |
| Series period: | 1961 - 2015   |
| Latitude:      | 43.91         |
| Longitude:     | 12.9          |
| Base Period:   | 1971 – 2000   |
| Elevation:     | 12.9 m s.l.m. |



## 5.1. Indici climatici Precipitazione

| Index                                   | Definition   | Units  | Indices name Climact2 | Slope  | STD_of_Slope | P_Value |
|---|--|--------|-----------------------|--------|--------------|---------|
| RX1day (Max 1-day precipitation amount) | Maximum value of 1-day precipitation   | mm     | rx1day                | -0.144 | 0.334        | 0.668   |
| R95p (Very wet days)                    | Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period                                | mm     | r95p                  | 1.881  | 1.071        | 0.085   |
| SDII (Simple Daily Intensity Index)     | Annual total precipitation divided by the number of wet days (defined as daily PRCP $\geq$ 1.0 mm) in the year | mm/day | sdi                   | 0.029  | 0.013        | 0.03    |
| CDD (Consecutive Dry Days)              | Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm   | mm     | cdd                   | 0.071  | 0.079        | 0.37    |
| R20 (Very heavy precipitation days)     | Annual count of days when daily PRCP $\geq$ 20 mm  | days   | r20mm                 | 0.084  | 0.035        | 0.02    |

Se generalmente i trend delle precipitazioni tendono a non essere statisticamente significativi rispetto alla regressione lineare (come emerge anche nell'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni nel cap.4 ), nel caso degli indici estremi si rileva come alcuni siano statisticamente significativi ( $p\_value < 0,05$ ), come SDII (Simple Daily Intensity Index) ed R20 (Very heavy precipitation days). L'indice R95p (Very wet days) mostra un segnale leggermente al di sopra del valore limite prima citato, mentre RX1day (Max 1-day precipitation amount) e CDD (Consecutive Dry Days) risultano essere non attendibili statisticamente.

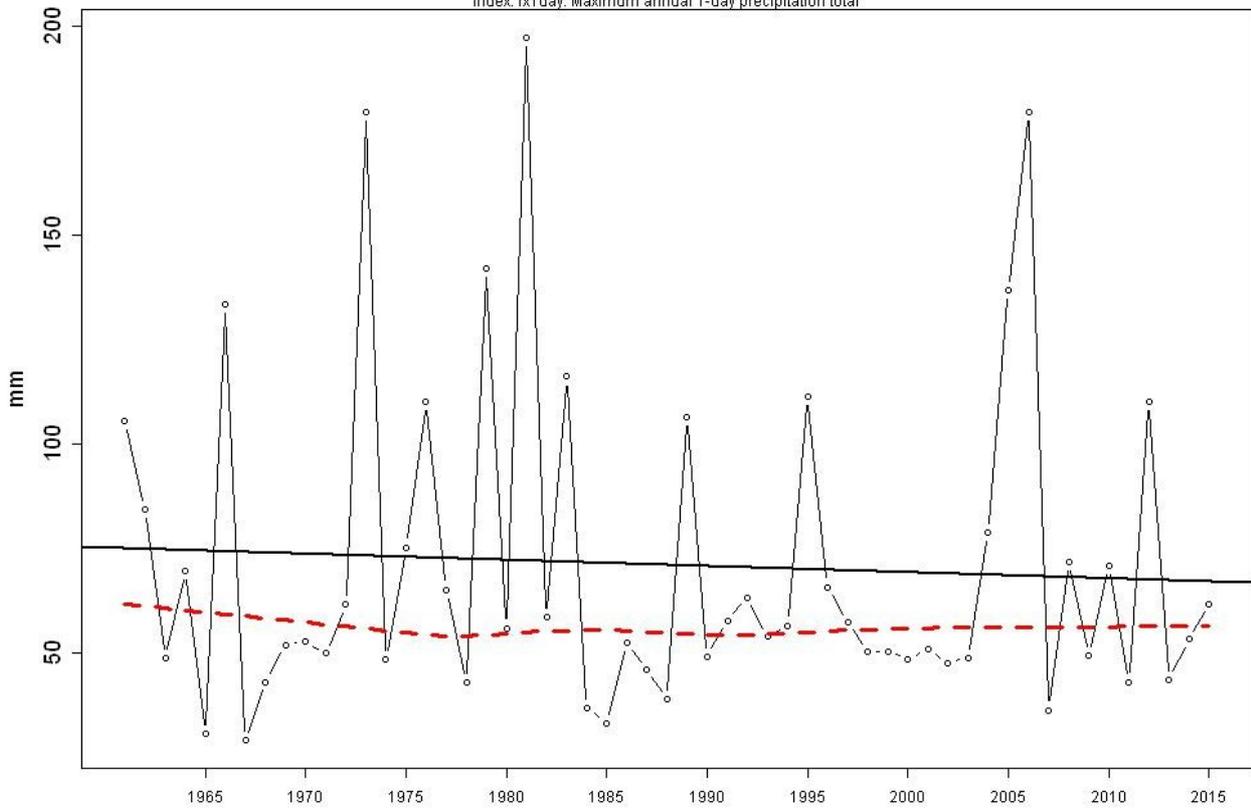
Non si osservano dunque tendenze ben definite di variazione delle *precipitazioni massime giornaliere* (RX1day) , anche se l'indice di *precipitazione nei giorni molto piovosi* (R95p) mostra da metà degli anni 2000 una tendenza alla crescita delle frequenze, similmente all'indice di *intensità di pioggia* (SDII) e l'indice di *precipitazioni > di 20 mm* (R20).

L'indice *dei giorni non piovosi consecutivi* (CDD) non mostra una tendenza ben definita, anche se risulta leggermente in crescita.

**Dunque si potrebbe sinteticamente concludere che si osserva nell'ultimo ventennio una intensificazione delle frequenza degli eventi di precipitazione, anche se non caratterizzati da eccezionalità nelle quantità cumulate.**

### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total



Linear trend slope= -0.144 Slope error= 0.334 , p-value= 0.668

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

### RX1day (Max 1-day precipitation amount)

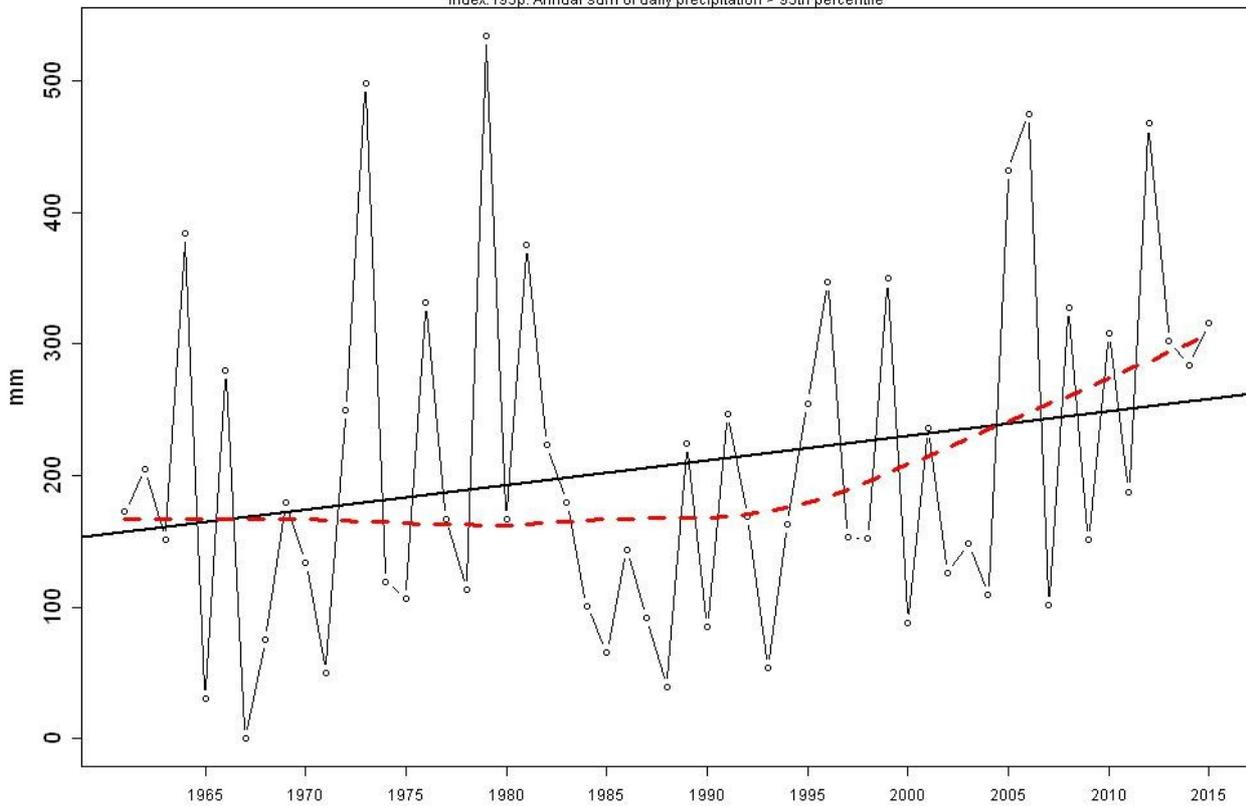
Il trend relativo all'indice *precipitazioni massime giornaliere* annue non mostra significative variazioni; oltretutto, la quasi totalità degli *outliers* più importanti si sono verificati tra il 1973 ed il 1983 (in particolare nel 1973 179.4 mm/24h, nel 1981 197.3 mm/24h), mentre a partire dal 2000 solamente in una situazione si sono superati significativamente i 150 mm/24h, nel 2006 (179,6 mm/24h).

Tale evidenza sottolinea che le fenomenologie derivanti dall'evoluzione di fronti a carattere caldo sono meno incisive oppure il passaggio di tali perturbazioni avviene in maniera più rapida e di conseguenza provoca precipitazioni meno abbondanti.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile



Linear trend slope= 1.881 Slope error= 1.071 , p-value= 0.085

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

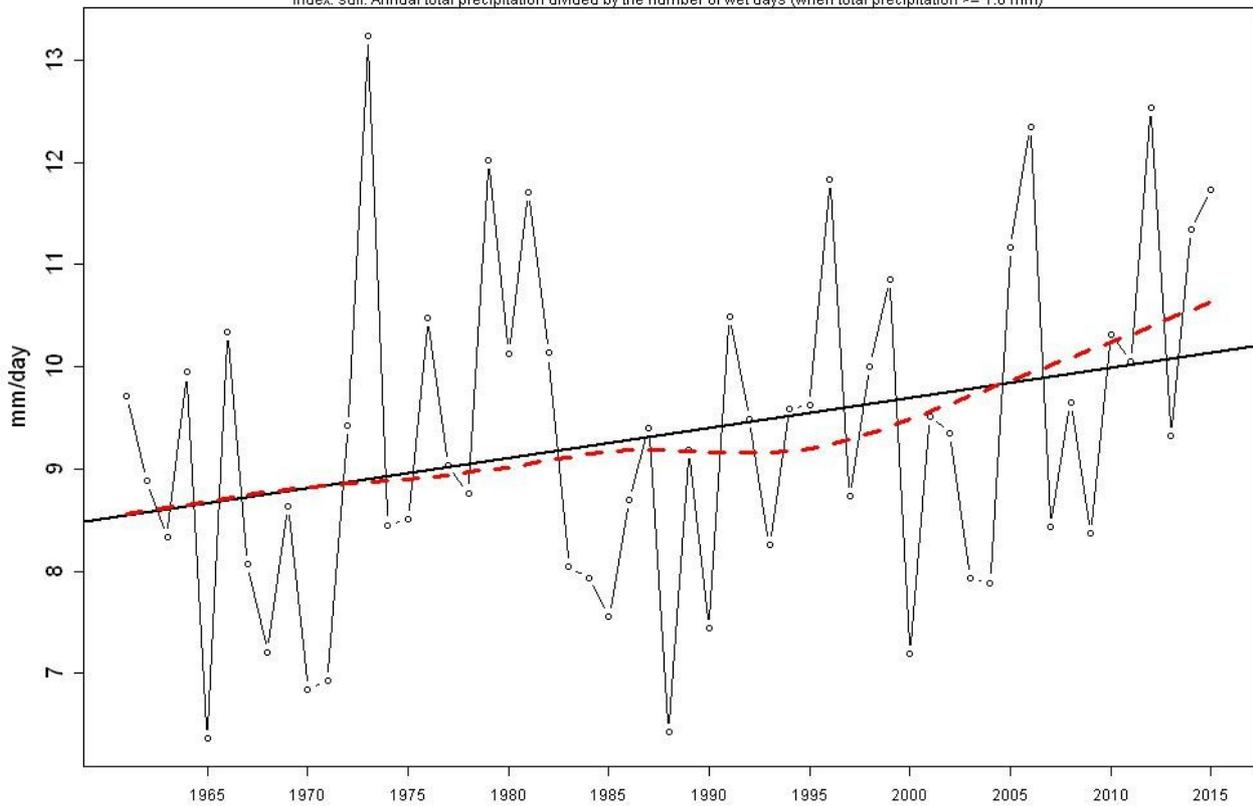
### R95p (Very wet days)

Questo indice (indice di *precipitazione nei giorni molto piovosi* ) ci quantifica l'abbondanza delle precipitazioni cumulate nei giorni aventi precipitazioni superiori al 95° percentile . Rispetto al trend dei giorni più piovosi dell'anno, si nota una tendenza opposta. Il segnale è complessivamente in aumento pur essendo molto complesso; le cumulate più imponenti si registrano ancora una volta appena prima degli anni '80; segue un periodo caratterizzato da un decremento del valore della variabile, seguito, infine da una decisa ripresa nell'ultimo decennio. Dunque si assiste proprio a partire dal 2005 ad una maggiore frequenza di giorni molto piovosi anche se non caratterizzati da eccezionalità nelle cumulate.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation  $\geq 1.0$  mm)



Linear trend slope= 0.029 Slope error= 0.013 , p-value= 0.03

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

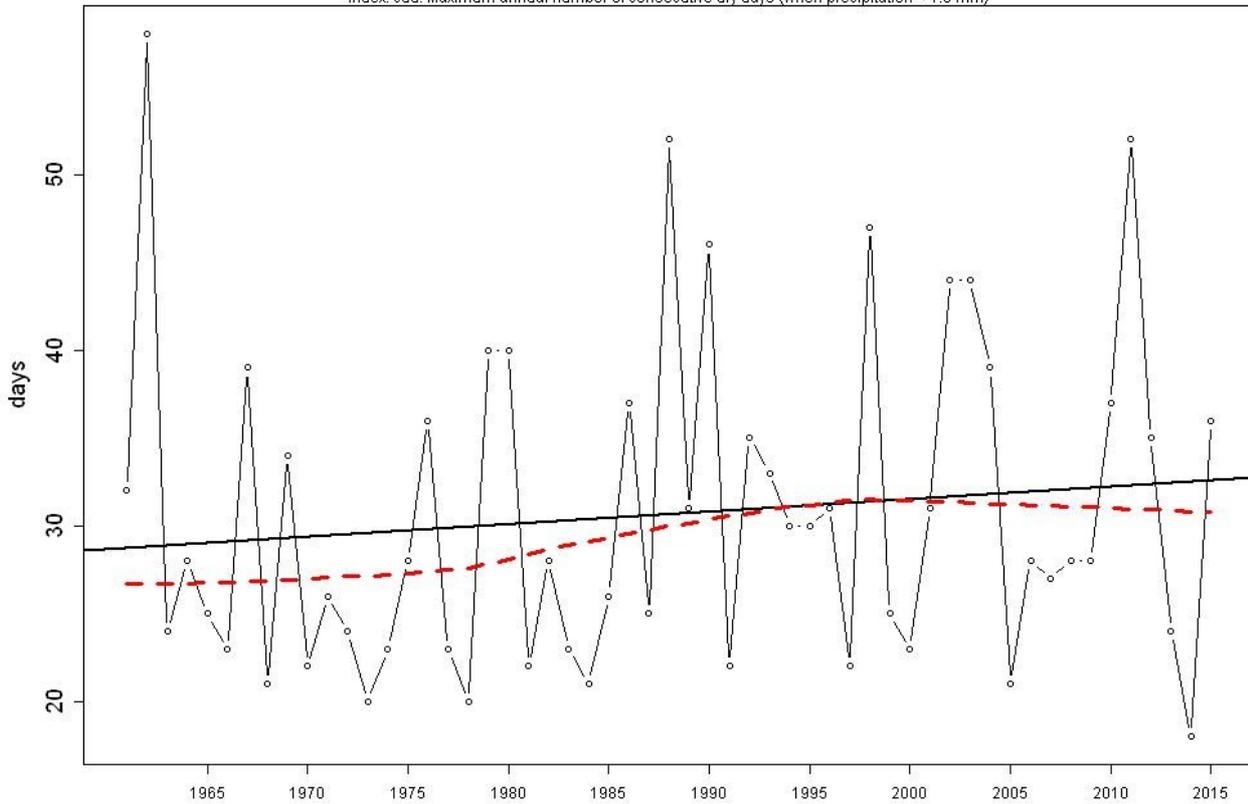
### SDII (Simple Daily Intensity Index)

Questo indice di *intensità di pioggia* quantifica l'intensità meteorica media giornaliera. Il trend è evidentemente in aumento, di circa 0.03 mm/anno, pari a circa 1,5 mm nell'intero periodo. Si passa infatti da un'intensità media di 8,5 mm/giorno ad un'intensità di circa 10 mm. Pertanto, l'aumento percentuale è quantificabile nel 15% circa. Anche in questo caso, tuttavia, si osserva che le intensità media più elevate si sono registrate nel decennio 1972-1983, con un successivo prolungato calo dei valori ed una recente decisa ripresa nell'ultimo decennio, con una media di circa 11 mm. Si evidenzia infine una probabile periodicità avente lunghezza d'onda di circa 25 anni.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: cdd. Maximum annual number of consecutive dry days (when precipitation < 1.0 mm)



Linear trend slope= 0.071 Slope error= 0.079 , p-value= 0.37

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

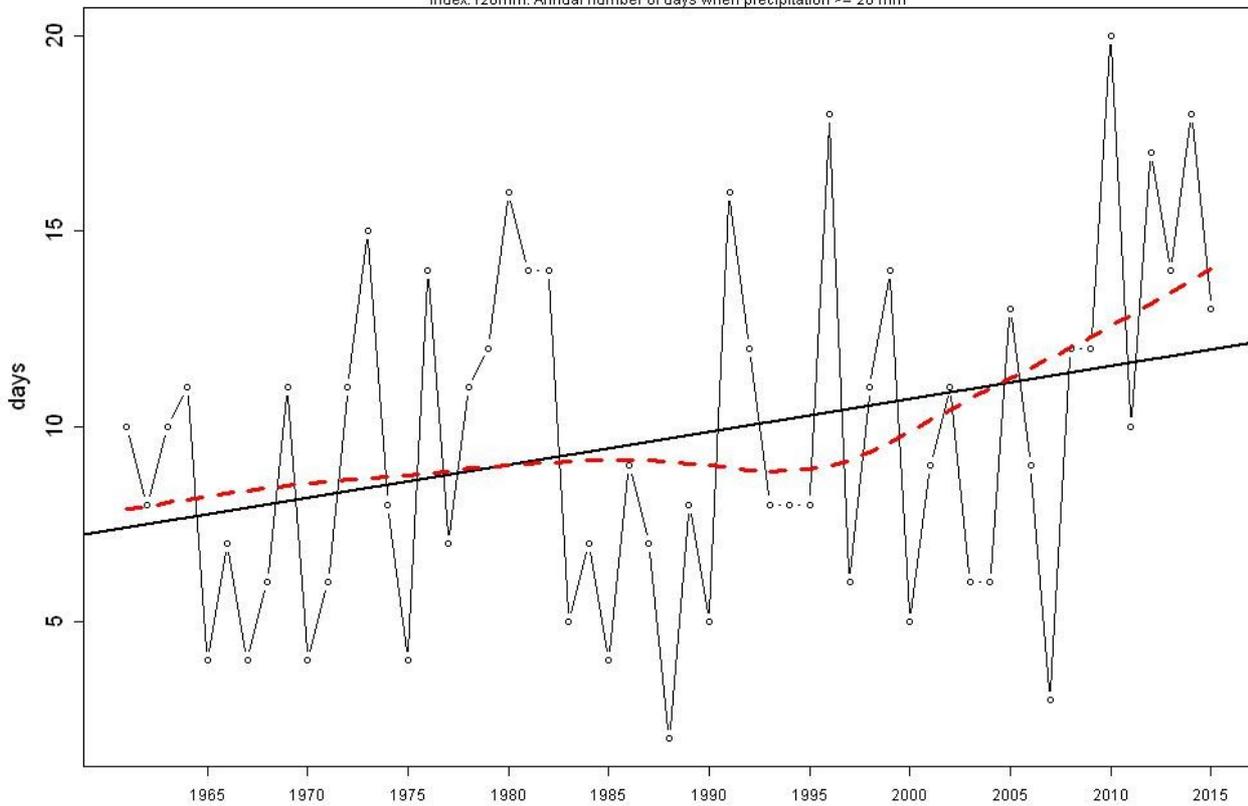
### CDD (Consecutive Dry Days)

Questo indice *dei giorni non piovosi consecutivi* quantifica la lunghezza massima annuale dei periodi “secchi” e si rivela un ottimo indicatore del *climatic change* in atto relativamente nel bacino mediterraneo. Il segnale mostra un contenuto incremento, quantificabile in poco più di 3 giorni per l’intero periodo. Si passa da fasi siccitose estese temporalmente tra circa 28 giorni negli anni ’60 ed oltre 30 negli ultimi anni. Forte risulta essere la variabilità intra-annuale, con gli outliers principali – estesi oltre i 50 giorni - posti a distanze temporali di circa 25 anni



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: r20mm. Annual number of days when precipitation  $\geq 20$  mm



Linear trend slope= 0.084 Slope error= 0.035 , p-value= 0.02

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

### R20 (Very heavy precipitation days)

Tale indice quantifica la frequenza di giorni con precipitazioni abbondanti  $>20$  mm. La tendenza complessiva mostra un significativo incremento del segnale – quantificabile in circa 0.09 giorni/anno, pari a circa 4,5 giorni per l'intero periodo. Si passa infatti dai 7,4 giorni ad inizio periodo di osservazione a poco meno di 12 nel periodo attuale. La frequenza risulta dunque in aumento del 60% circa, evidentemente concentrate nell'ultimo ventennio, come provato dal comportamento dell'interpolante polinomiale. E' probabile, incrociando tale informazione con quella relativa all'intensità media giornaliera – anche essa in aumento - che tale aumento sia dovuto principalmente ai fenomeni brevi e intensi, di evidente genesi convettiva.



## 5.2. Indici climatici Temperature

| Index                            | Definition   | Units | Indices name Climact2 | Slope  | STD_of_Slope | P_Value |
|----------------------------------|--|-------|-----------------------|--------|--------------|---------|
| FD0 (Frost Days)                 | Annual count of days when TN (daily minimum) < 0°C   | days  | fd                    | -0.244 | 0.085        | 0.006   |
| SU25 (Summer days)               | Annual count of days when TX (daily maximum) > 25°C  | days  | su                    | 0.849  | 0.102        | 0.000   |
| TR20 (Tropical nights)           | Annual count of days when TN (daily minimum) > 20°C  | days  | tr                    | 0.588  | 0.083        | 0.000   |
| TN10P (Cold nights)              | Percentage of days when TN < 10th percentile of the base period                                    | %     | tn10p                 | -0.169 | 0.024        | 0.000   |
| TN90P (Warm nights)              | Percentage of days when TN > 90th percentile of the base period                                    | %     | tn90p                 | 0.256  | 0.032        | 0.000   |
| TX10P (Cold days)                | Percentage of days when TX < 10th percentile of the base period                                    | %     | tx10p                 | -0.266 | 0.03         | 0.000   |
| TX90P (Warm days)                | Percentage of days when TX > 90th percentile of the base period                                    | %     | tx90p                 | 0.238  | 0.025        | 0.000   |
| SU30 (Very Hot days)             | Annual count when TX ≥ 30°C  | days  | TXge30                | 0.595  | 0.089        | 0.000   |
| WSDI (Warm Spell Duration Index) | Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX > 90th percentile of the base period | days  | wsgi                  | 0.193  | 0.046        | 0.000   |

Gli indici estremi relativi alle temperature minime e massime risultano tutte statisticamente significative, con valori *p\_value* nettamente < 0,05; si specifica che i valori di *p\_value* nella precedente tabella pari a “0.000” indicano in realtà un valore inferiore ad una certa soglia che viene così approssimata.



L'indice *giorni di gelo* (FD0) segna una tendenza alla diminuzione, dunque una riduzione di circa 2 - 3 giornate ogni 10 anni con Temperature minime  $< 0^{\circ}\text{C}$

Più significativa risulta la tendenza di aumento dell'indice di *Giorni caldi* (SU25), circa 8 giornate in più ogni 10 anni di giornate con Temperature massime superiori a  $25^{\circ}\text{C}$ . Segna una tendenza in aumento anche l'indice di *Notti Tropicali* (TR20), circa 6 ogni 10 anni.

La tendenza dei *Giorni freddi* (TX10P) segna un calo di quasi 2-3 giorni ogni 10 anni, e più specificatamente le *Notti fredde* (TN10P) segnano un calo di quasi 2 giorni ogni 10 anni.

Si contrappone quasi specularmente un aumento dei *Giorni caldi* (TX90P) di poco più di 2 giorni ogni 10 anni, ed un aumento delle *Notti calde* (TN90P) di 2 – 3 giorni sempre ogni 10 anni.

Un altro indice interessante è *Giorni molto caldi* (SU30), ovvero giornate con Temperatura massima maggiore di  $30^{\circ}\text{C}$ ; si desume che dal 1961 al 2015 tali giornate siano aumentate circa 6 ogni 10 anni, vale dire 33 giorni in più in 55 anni.

Infine si riporta un ultimo indice di stima dell'andamento della frequenza delle ondate di calore: (WSDI); interessante notare come tale indice sia rapidamente in crescita dagli anni 90.

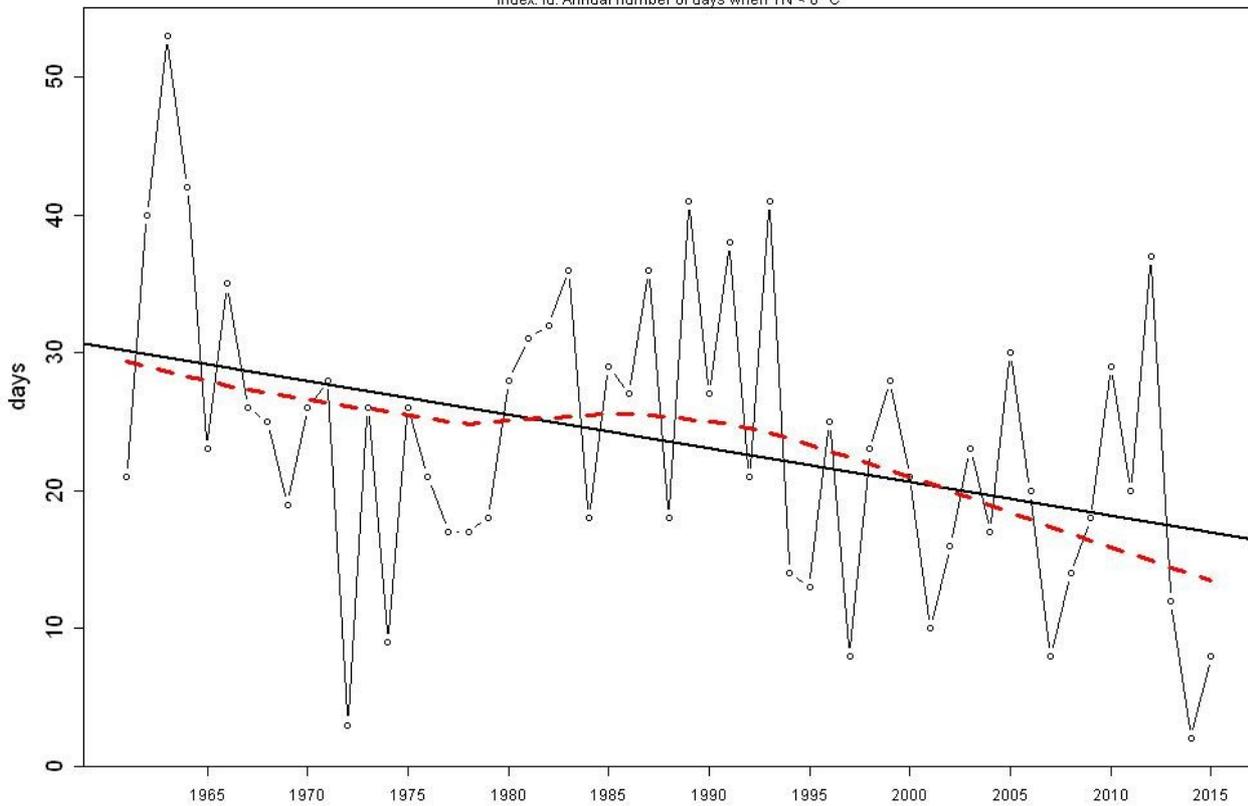
I risultati emersi dalla serie di Pesaro sono in linea con quanto osservato nel *Rapporto ISPRA 37/2013 "Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia"*; benché questi consideri un periodo di osservazione più breve (1961 – 2012) e la normale climatica sia riferita al 1961 – 1990.

Nel rapporto ISPRA si evidenzia come in generale in Italia vi sia una tendenza al riscaldamento, con un aumento del valore degli indici che descrivono gli estremi di caldo (SU25, TN90, TX90, WSDI), del numero di notti tropicali (TR20), ed una netta prevalenza di anomalie positive a partire dagli anni '80. Viceversa, il numero di giorni con gelo (FD0), il numero di notti fredde (TN10P) e il numero di giornate fredde (TN10P), mostrano una prevalenza di anomalie negative dall'inizio degli anni '80 ad oggi. Dunque questi risultati confermano per gli estremi di temperatura quanto era stato rilevato per la temperatura media (Toreti e Desiato, 2007), vale a dire un cambiamento dei trend (changepoint) che si colloca all'inizio degli anni '80, periodo in cui ha inizio una fase di riscaldamento più marcato.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: fd. Annual number of days when TN < 0 °C



Linear trend slope= -0.244 Slope error= 0.085 , p-value= 0.006

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

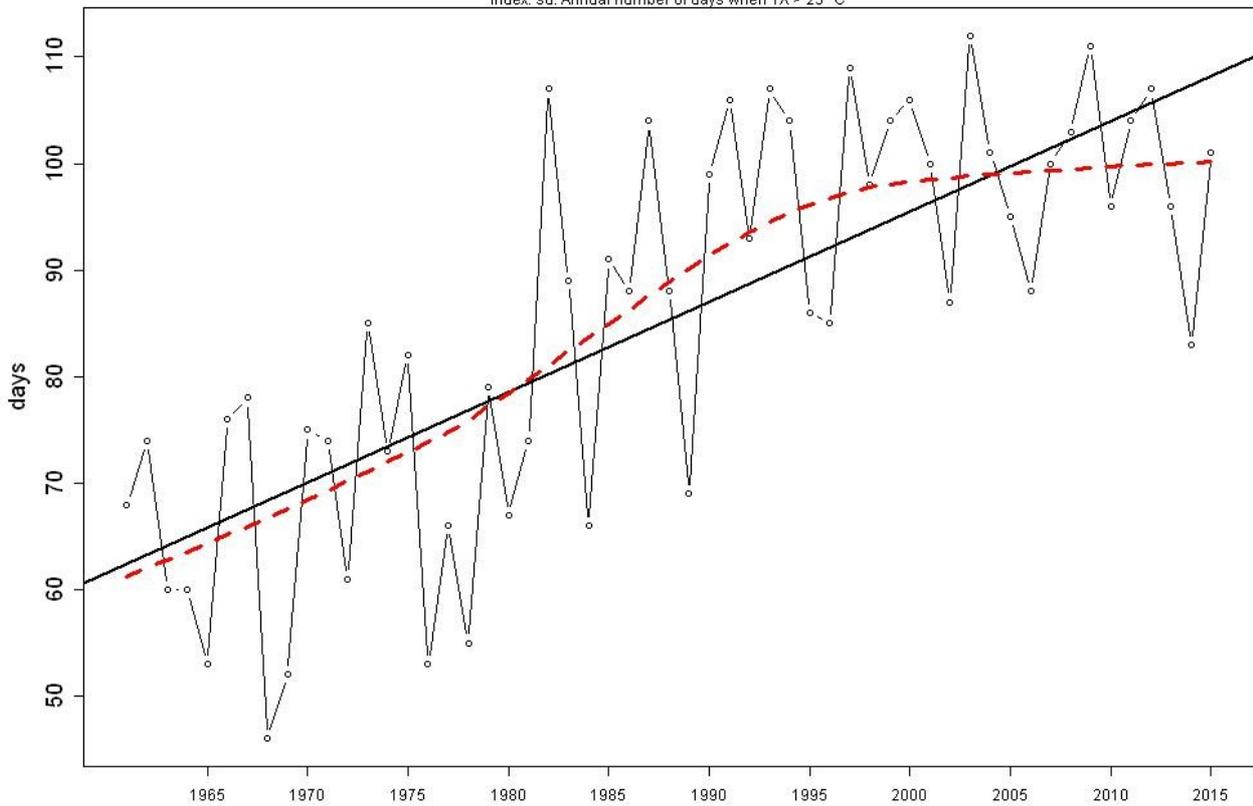
### FD0 (Frost Days)

Il segnale dell'indice *numero annuo dei giorni di gelo* (con  $T_{min} < 0^{\circ}C$ ) mostra un evidente calo del numero dei giorni di gelo, quantificabile in circa 0.24 giorni/anno, pari a oltre 13 giorni per l'intero periodo analizzato e a circa il 40% del totale iniziale; sembra evidente una periodicità ad alta frequenza, con massimi all'inizio del periodo di studio e nel decennio 1985 – 1995 e minimi egualmente intensi negli anno '70 e a partire dal 1995, con una lieve controtendenza negli ultimi cinque anni



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: su. Annual number of days when TX > 25 °C



Linear trend slope= 0.849 Slope error= 0.102 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

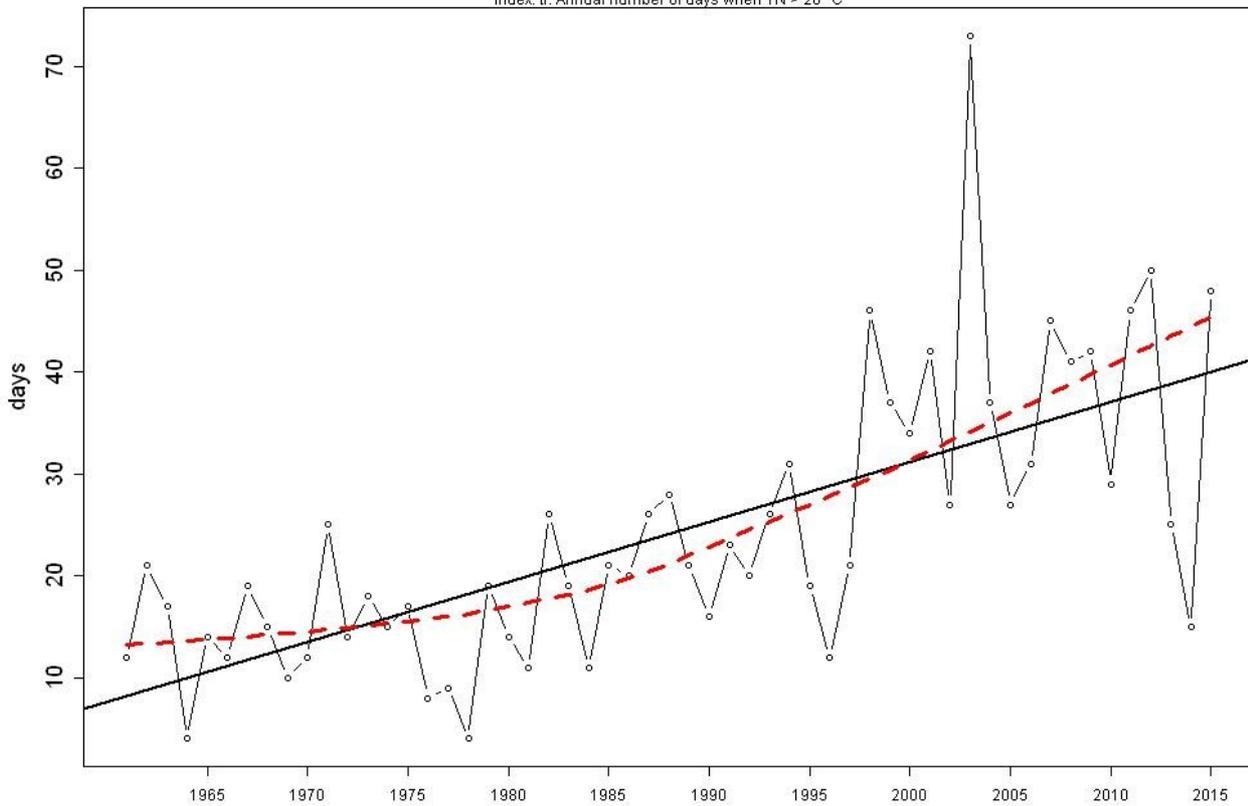
### SU25 (Summer days)

Il segnale relativo al numero di *giorni caldi* - con temperature massime > 25°C è caratterizzato da un complessivo deciso incremento, dell'ordine di circa 0,9 giorni/anno, dunque di circa 50 giorni nell'intero periodo; il totale varia dagli iniziali 61 ai 110 circa. Ad una più dettagliata analisi dell'andamento, mediante l'introduzione di una polinomiale di ordine superiore si nota no valori mediamente stazionari dall'inizio della serie sino al 1972, con un successivo repentino incremento sino al 1985 e successiva tendenza ad un comportamento asintotico accompagnato da minore variabilità intra-annuale.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: tr. Annual number of days when TN > 20 °C



Linear trend slope= 0.588 Slope error= 0.083 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

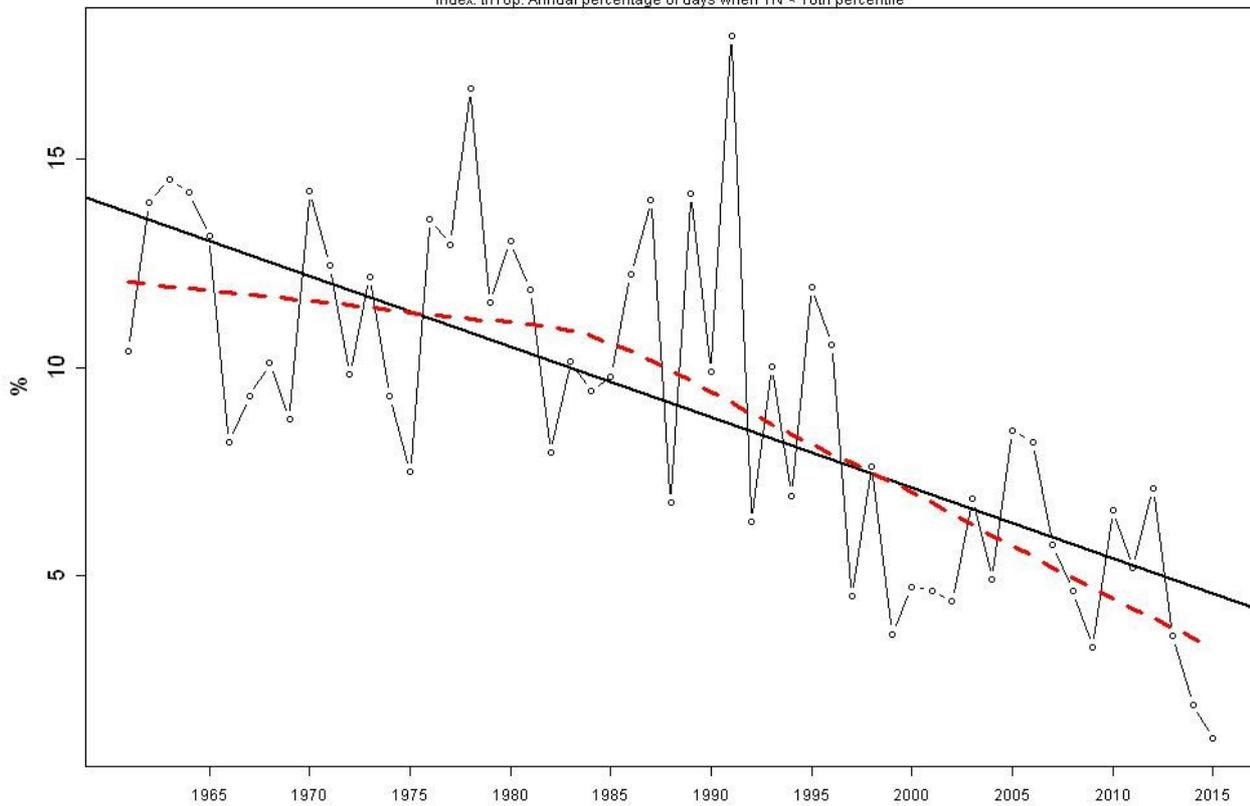
### TR20 (Tropical nights)

L'andamento del numero delle notti tropicali - con temperatura minima > 20°C - mostra un deciso incremento - di circa 0.6 giorni /anno pari a circa 32 giorni totali. Di conseguenza la frequenza del segnale è quasi quadruplicata. Il comportamento del segnale è di tipo iperbolico, stazionario sino al 1975 e con un successivo graduale incremento, via via maggiore a partire dal 1990. Deciso l'outlier positivo dell'estate 2003



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: tn10p. Annual percentage of days when TN < 10th percentile



Linear trend slope= -0.169 Slope error= 0.024 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

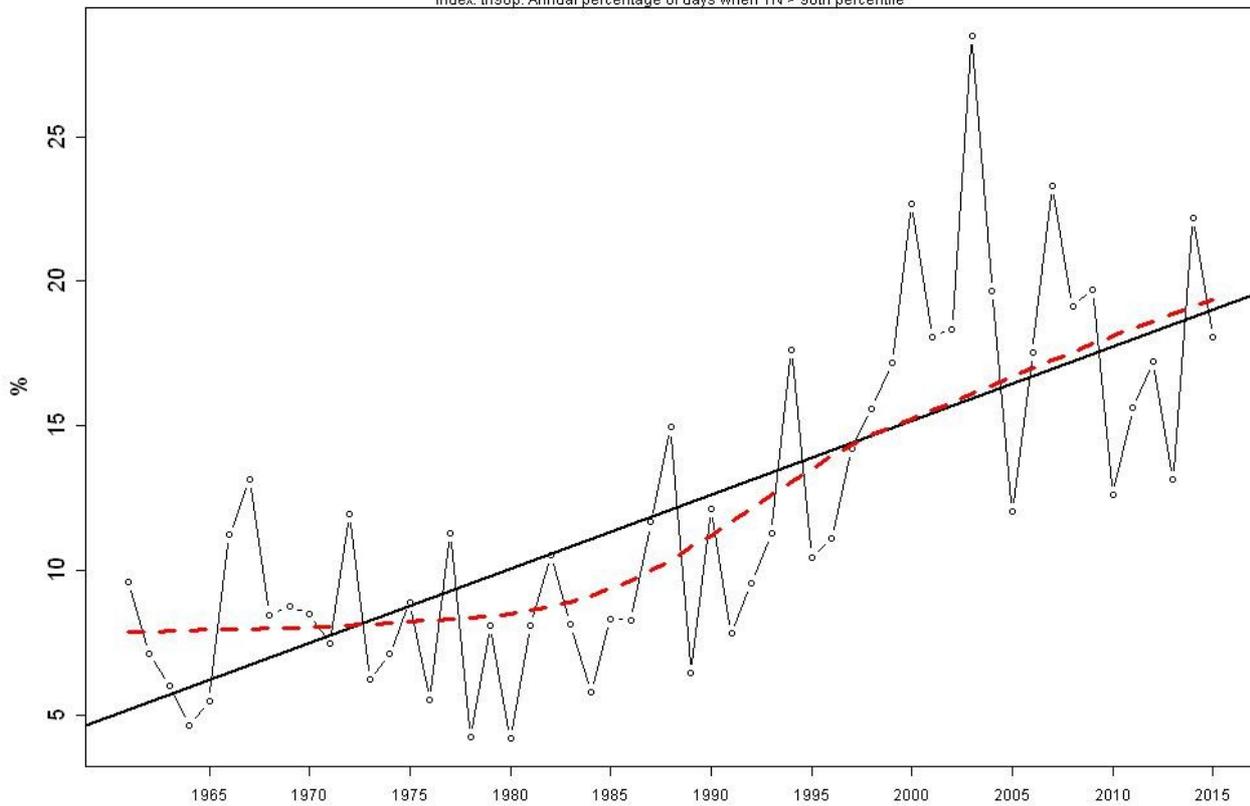
### TN10P (Cold nights)

Il segnale relativo ai giorni con temperature minime particolarmente basse – inferiori al decimo percentile - (indice *Notti fredde* ) mostra un forte decremento percentuale, con eventi sempre più rari e più che dimezzati nell'ultimo quinquennio. Il calo, molto lieve sino al 1990 si è rapidamente inasprito dopo tale data.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: tn90p. Annual percentage of days when TN > 90th percentile



Linear trend slope= 0.256 Slope error= 0.032 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

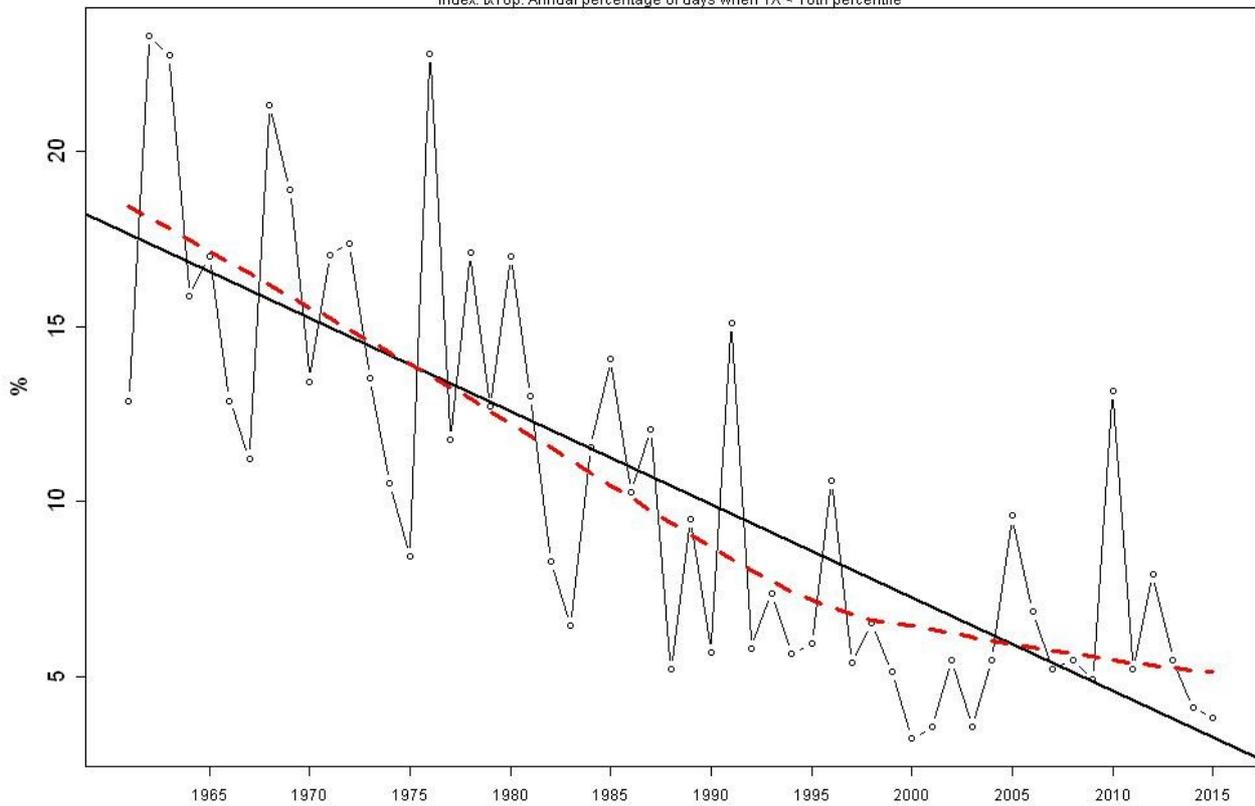
### TN90P (Warm nights)

Il segnale relativo alla frequenza percentuale di notti particolarmente calde – oltre il 90° percentile - (indice *Notti calde* ) è del tutto opposto a quello evidenziato per le notti molto fredde. Si assiste ad un deciso incremento della fenomenologia, più che triplicata rispetto ai primi anni osservati. Evidentemente quindi le notti calde sono diventate molto comuni all'inizio del XXI secolo.



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: tx10p. Annual percentage of days when TX < 10th percentile



Linear trend slope= -0.266 Slope error= 0.03 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

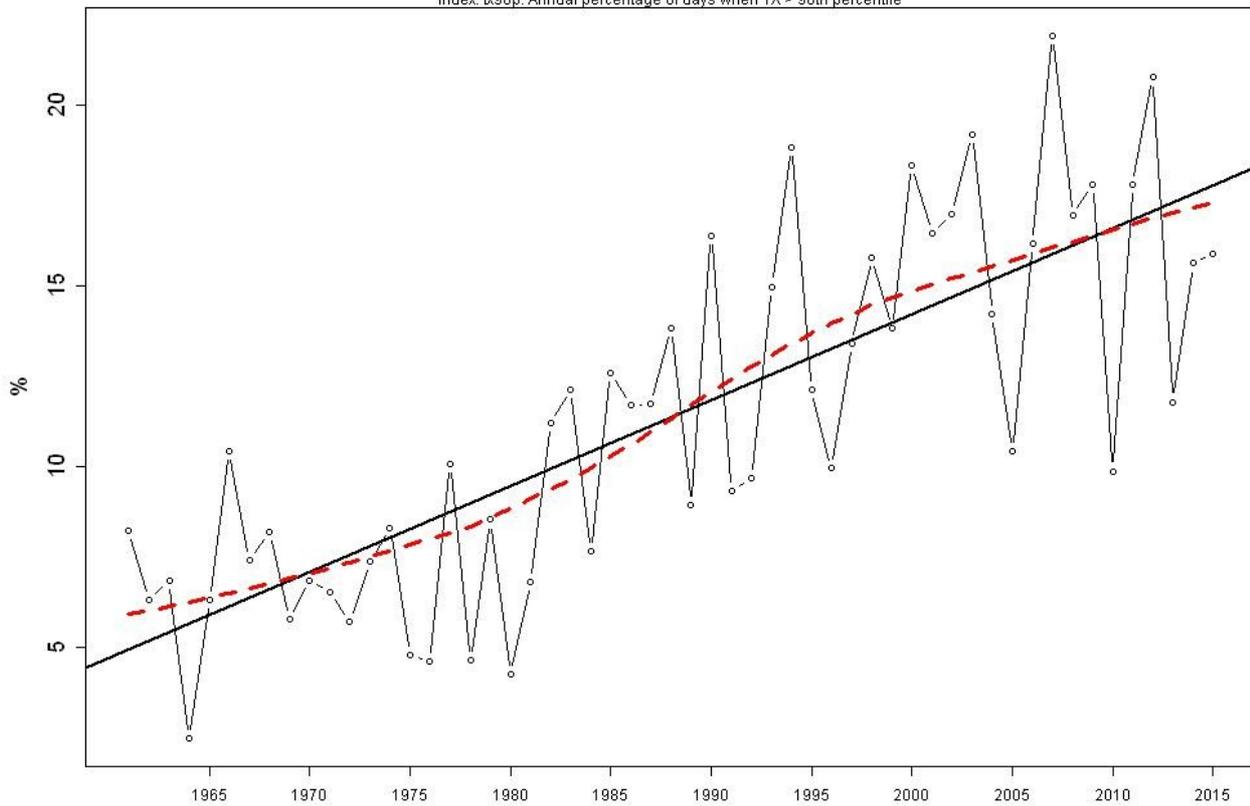
### TX10P (Cold days)

La tendenza relativa alla frequenza percentuale del numero di *giorni freddi* – minori del 10° percentile - mostra un deciso decremento, molto costante sino al 2000 circa, poi meno pronunciato; tuttavia risulta evidente che la frequenza di giorni relativamente freddi tenda a divenire quasi nulla nonostante che nell'ultimo decenni si siano verificati brevi fasi invernali caratterizzate da freddo intenso



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: tx90p. Annual percentage of days when TX > 90th percentile



Linear trend slope= 0.238 Slope error= 0.025 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

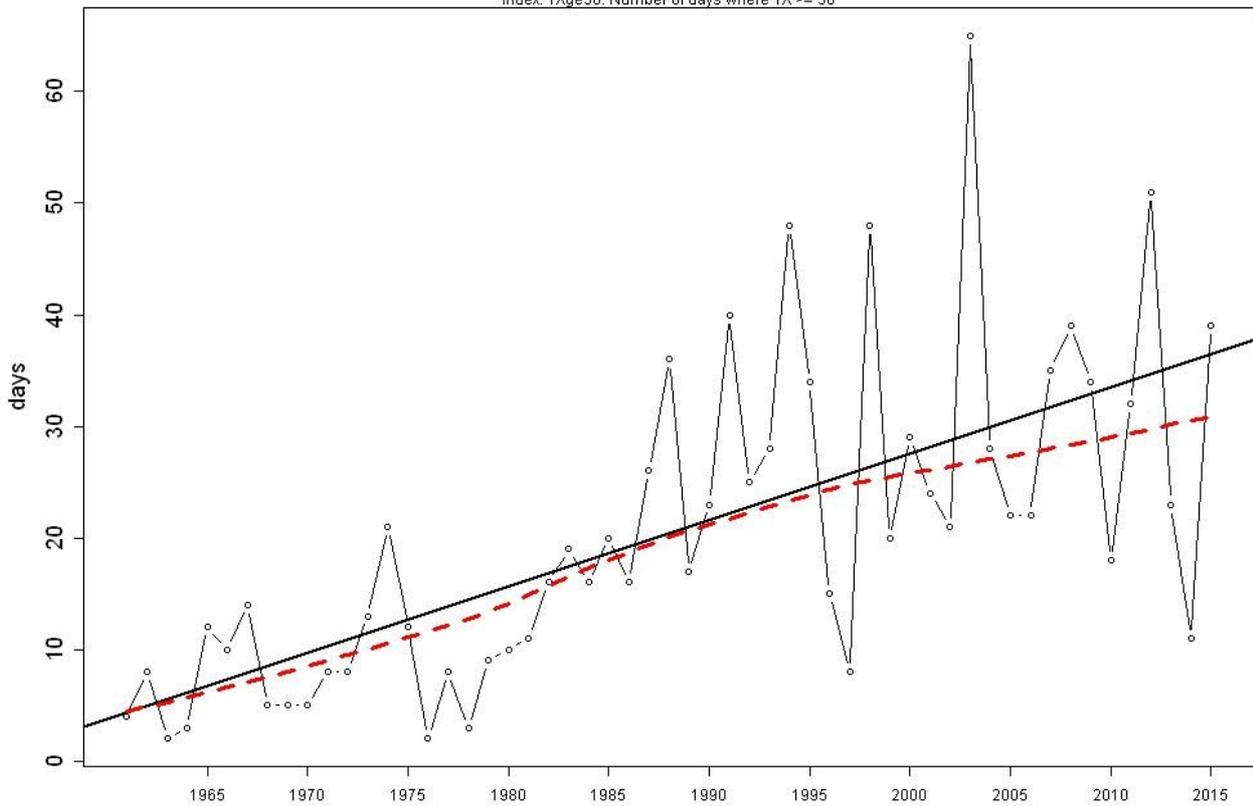
### TX90P (Warm days)

Il segnale relativo alla frequenza percentuale di *giorni caldi* – superiori al 90° percentile - mostra un forte incremento, in particolare nel periodo 1983 – 2000 mentre di seguito, esso tende a divenire complessivamente asintotico vista un aumentata variabilità intra-annuale, con numerosi e contrastati *outliers* positivi e negativi (estremizzazione termica)



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: TXge30. Number of days where TX >= 30



Linear trend slope= 0.595 Slope error= 0.089 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

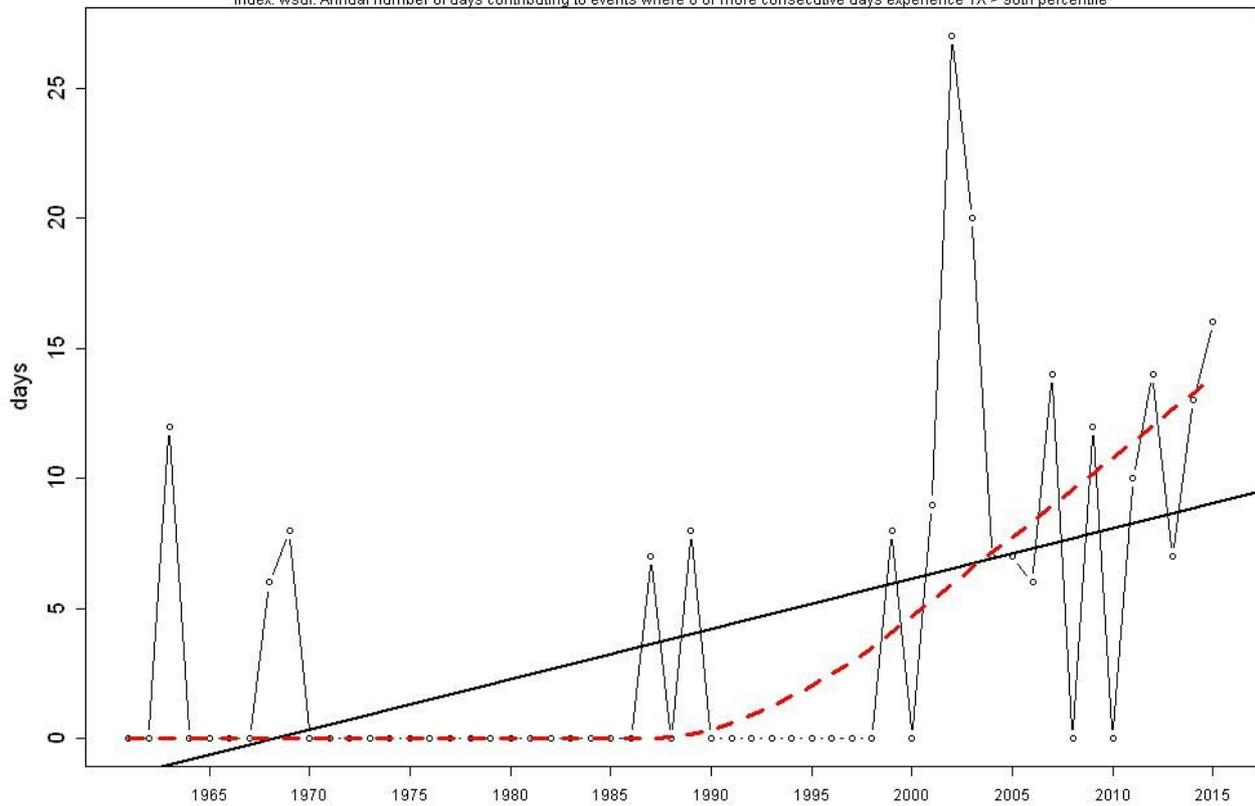
### SU30 (Hot days)

Il numero di *giorni molto caldi* rappresenta un parametro molto significativo nell'ambiente mediterraneo. La sua tendenza mostra un inequivocabile incremento – molto simile a quello relativo ai giorni con  $T_{max} > 25^{\circ}C$  - quantificabile in oltre 1 giorno ogni due anni, pari a circa 30 giorni per l'intero periodo. Si osserva una quasi totale assenza del fenomeno sino alla fine degli anni '70, con un successivo marcato incremento sino ai 30 giorni circa degli anni più recenti. Eccezionale l'*outlier* relativo al 2003 (64 giorni)



### Station: Pesaro\_1961-2015 [43.91°N, 12.9°E]

Index: wsd. Annual number of days contributing to events where 6 or more consecutive days experience TX > 90th percentile



Linear trend slope= 0.193 Slope error= 0.046 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

### WSDI (Warm Spell Duration Index)

L'indice *Durata onda di calore* (WSDI) misura il numero massimo di giorni l'anno con temperatura massima superiore al 90° percentile della statistica delle massime giornaliere sul periodo climatologico di base (70 – 2000) per almeno 6 giorni consecutivi.

L'indice mostra un segnale statisticamente non definibile, in quanto la grandezza analizzata è quasi del tutto assente nella prima metà del periodo analizzato, con valori via via crescenti nell'ultimo ventennio. Notevole l'outlier positivo relativo all'estate 2003 e significativi i segnali relativi alle fresche estati 2008 e 2010.



## Bibliografia

- Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2007. SCIA: a system for a better knowledge of the Italian climate, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 48, n. 3, 351-358.
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F. ISPRA, stato dell'ambiente 66/2016. ISBN 978-88-448-0780-1
- Kendall MG., 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin: London.
- Yue, S. and Pilon, P. (2003). Interaction between deterministic trend and autoregressive process. *Water Resources Research* 39: doi: 10.1029/2001WR001210.
- Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research*, 37(4):987-998.
- Mann HB., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245–259.
- WMO, 2011. *Guide to Climatological Practices*. WMO-No.100. Geneva.
- Yue, S., Pilon P., Phinney B. and G. Cavadias, 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16: 1807-1829
- Wang X. L., Feng F. 2014 (2009-V1): RHtestsV4 User Manual. Climate Research Division, ASTD, Ontario, Toronto, Environment Canada <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>
- software R (<https://www.r-project.org/>).
- Expert Team on Sector-specific Climate Indices (ET-SCI) - <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace4/ET-SCI-4-1.php>
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., 2012. Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche. Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 32/2012.
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., 2013. Variazioni e tendenze degli es
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., e Desiato F., 2016, Controlli di qualità delle serie temporali di temperatura e precipitazione, Rapporto ISPRA/ Stato dell'Ambiente 66/2016.
- Giorgi F., 2006. Climate change hot-spots. *Geoph. Res. Letters*, 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734.
- Klein Tank A.M.G. , Zwiers F.W., Zhang X., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring WCDMP*, 72, WMO-TD N. 1500, 56pp.
- Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. e Plummer N., 2001. Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva,
- Wang X.L., Wen Q.H., Wu Y., 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 46, 916–931 doi: 10.1175/JAM2504.1
- Wang X.L., 2008a. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. *J Atmos Ocean Technol* 25:368–384.
- Wang X.L., 2008b. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *J Appl Meteorol Climatol* 47: 2423–2444.
- Wang X.L. and Feng Y., 2010. RHtestV3 user manual. Published online at <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>. 20 July 2013.

