



LIFE SEC ADAPT PROJECT

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

CURRENT BASELINE ASSESSMENT REPORT

Municipality of **SAN PAOLO DI JESI**





| | |
|----------------------------|---|
| PROGRAMME | LIFE 2014 – 2020 – Climate Change Adaptation |
| PROJECT ACRONYM | LIFE SEC ADAPT |
| PROJECT CODE | LIFE14/CCA/IT/00036 |
| TITLE | Current Baseline Assessment Report |
| ACTION/TASK RELATED | A.1 |
| DATE OF DELIVERY | 31/10/2016 |
| VERSION | Final |
| AUTHOR | LUCA GIULIETTI, Municipality of SAN PAOLO DI JESI |





TABLE OF CONTENTS

| | |
|--|----|
| Executive summary in English | 4 |
| Executive summary in National Language | 6 |
| 1. Introduzione | 8 |
| 1.1 Obiettivi del Progetto Life Sec Adapt | 8 |
| 1.2 Action A1: definizione della base climatica a livello locale | 8 |
| 2. Comune di San Paolo di Jesi : analisi del contesto geografico e climatico | 9 |
| 2.1 Contesto geografico | 9 |
| 2.2 Contesto climatico | 10 |
| 3. Serie climatiche, controllo qualità del dato e approccio metodologico di analisi..... | 15 |
| 3.1 Serie climatiche e controllo della qualità del dato | 15 |
| 3.2 Approccio metodologico e analisi condotte | 18 |
| 4. Trend delle Anomalie Climatiche | 20 |
| 4a. Precipitazioni | 20 |
| 4b. Temperature | 24 |
| 5. Indici Climatici Estremi | 32 |
| 5a. °Precipitazioni | 33 |
| 5b. Temperature | 40 |
| <i>Bibliografia</i> | 51 |





Executive summary in English

The collection of available information about climate change and its current trend is an important part of the study and assessment of the adaptation to climate change. In this context the recognition and estimation of climate variables trends (e.g. temperature and precipitation) are carried out through the statistical elaboration of time series originating from meteorological monitoring stations. Data processing are performed using specific software and procedures which can control and estimate the

climatic variables trend, in terms of differences or, as in the case of precipitation, in terms of percentage differences in the unit of time (year).

This report shows the elaboration and the assessment of the climate trend (at local level) which is needed to define the future regional climate projection and, therefore, in the next step, to describe risks and vulnerability assessment at the municipal level.

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

- a) **Climate variables Trends**, by the trend analysis of main climate variables (Precipitation and Temperature mean, max and min);
- b) **Climate extremes Indices**, selected by the ET SCI core set of 34 indices defined by the WMO Commission for Climatology (CCL).

San Paolo di Jesi Municipality selected as data series the data of the “Centro Funzionale della Protezione Civile Regionale” station placed in Jesi that monitors and collects local meteo parameters. The dataset used for this report consists of daily data of Precipitation (P, mm) and both the maximum Temperature (Tx) and the Minimum Temperature (Tn), from 1960 to 2015. The climate normal is defined, for all municipalites, from 1971 to 2000.

Precipitation Trends and extreme indices.

Regarding precipitation annual trend, the statistical analysis carried out and described in this report do not highlight significant trend, so much different from the seasonal result. The summer season displays the most substantial reduction, on the other hand the autumn season trend shows an increase in cumulated precipitation. However, all the annual and seasonal variations are not statistically significant.

The extreme precipitation indices, as well as the precipitation trends, do not show a statistically significant variation; except for the Simple Daily Intensity Index (SDII, precipitation amount on rainy days, i.e. days with PRCP \geq 1.0 mm) that marks an increase of 1,5mm of precipitation during the observed period, 1960-2015.

Temperature Trends and extreme indices.

Concerning mean, minimum and maximum temperature variation, all trends result are statistically significant (except for Tx, which gave test value over the threshold). The minimum temperature, Tn,





displays the highest increase, +2,4°C for the entire period, instead the Tx (maximum temperature) variation is about 0.4°C.

The climate indicators were calculated both for maximum and minimum temperature, and some of them show statistically significant variations. The FDO (Frost days) slope indicates an evident decrease in frost days, 21 for the observed period. Other statistically significant index, Tropical Nights Index (TR20), the Cold Nights Index (TN10P) and the Warm Nights Index (TN90P) describe and supported the increase of Minimum Temperature resulting from this report.





Executive summary in National Language

La raccolta dei dati disponibili sui cambiamenti climatici e sui relativi trend rappresenta una parte fondamentale nello studio e nella valutazione dei principi dell'adattamento ai cambiamenti climatici in atto. In tal senso l'analisi e la stima dei trend delle variabili climatiche considerate nel progetto (temperatura e precipitazioni) sono state eseguite attraverso l'elaborazione statistica delle serie temporali provenienti dalle stazioni di monitoraggio meteorologico, elaborazione eseguita attraverso l'applicazione di modelli statistici resi operativi attraverso software dedicati in grado di verificare le variazioni temporali delle variabili climatiche in termini di differenze assolute, per le temperature, o, nel caso delle precipitazioni, di differenze percentuali nell'unità di tempo (anno).

I procedimenti adottati fanno pertanto riferimento alla prima valutazione dei dati e del loro trend (nella fattispecie a scala locale) prettamente finalizzata all'analisi dei cambiamenti climatici di una specifica area geografica, ma anche propedeutica, in una fase successiva, alla valutazione dei rischi e delle vulnerabilità del territorio in questione.

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

- c) analisi dei trend climatici, operata sui principali parametri (precipitazioni e temperatura media, max e min),
- d) calcolo degli indici climatici estremi, selezionati dal set di indici ET SCI e definiti dal gruppo di esperti degli indici climatici della Commissione WMO per la Climatologia (CCL).

Il Comune di San Paolo di Jesi ha utilizzato come data-set i dati forniti dal "Centro Funzionale della Protezione Civile Regionale" provenienti dalle stazioni meteorologiche di Jesi che raccolgono e monitorano i parametri meteorologici nel territorio. Le variabili climatiche utilizzate nel presente report comprendono i dati giornalieri delle precipitazioni (P, mm) e delle temperature (Tx) massima e (Tn) minima, a partire dal 1960 fino al 2015. Il clima normale è definito per tutti i comuni, come media del periodo 1971-2000.

Precipitazioni, trend e indici estremi.

Per quanto riguarda il trend delle precipitazioni annuali, a differenza dei trend stagionali, l'analisi statistica effettuata e descritta nel presente report, non ha evidenziato variazioni apprezzabili. La stagione estiva è risultata essere quella caratterizzata dalla riduzione più evidente, in maniera completamente opposta alla variazione ottenuta nella stagione autunnale che invece denota l'aumento delle precipitazioni cumulate. Tuttavia occorre far presente che sia la variazione annuale che tutte quelle stagionali ottenute per le precipitazioni non sono risultate statisticamente significative, quindi i trend descritti non possono essere considerati statisticamente certi.

Allo stesso modo, gli indici estremi delle precipitazioni non sono significativi statisticamente; l'unico indice estremo con trend certo è risultato essere il SDII (indice di intensità piovosa) che





evidenzia un incremento di 1,5mm delle precipitazioni durante il periodo osservato, 1960-2015, vale a dire il verificarsi di un trend positivo all'intensità relativa della precipitazione durante i giorni piovosi.

Temperature, trend e indici estremi.

In merito ai trend delle temperature medie, minime e massime, i risultati ottenuti indicano che tali trend hanno un significato statistico certo (tranne per la temperatura massima T_x per la quale il test di validità dei dati ha fornito valori al di sopra della soglia di riferimento). La variazione della temperatura minima T_n evidenzia un importante incremento di $+2,4^{\circ}\text{C}$ durante il periodo osservato, al contrario della variazione della T_x (temperatura massima) con un incremento minimo pari a $0,4^{\circ}\text{C}$.

Anche per le temperature sono stati calcolati diversi indici estremi, sia per le massime che per le minime, e solo alcuni hanno mostrato un trend certo statisticamente. La pendenza che approssima l'indice FDO (giorni di gelo), indica una diminuzione importante dei giorni di gelo pari a circa 21 giorni in meno nell'intero intervallo di tempo osservato. Altri indici significativi sono risultati il TR20 (notti tropicali), il TN10P (notti fredde) e il TN90P (notti calde) che con il loro trend supportano e avvalorano l'aumento delle temperature minime T_n , quale dato significativo ed emergente dalle analisi condotte.





1. Introduzione

1.1 Obiettivi del progetto 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 della base climatica 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) hanno definito l'attuale contesto climatico di riferimento, processando serie di dati di lungo periodo per definire i trend climatici storici.

Il contesto climatico per l'adattamento sviluppato da tutti i Comuni, sulla base di una metodologia comune impostata da IDA, comprende l'analisi dei trend climatici a livello locale, che saranno poi confrontati con i trend storici rilevanti, al fine di sviluppare una conoscenza più approfondita delle caratteristiche climatiche del territorio.

Attraverso le valutazioni delle basi climatiche, 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 per i rappresentanti politici e tecnici dei comuni beneficiari di progetto. Tali azioni saranno fondamentali sia per aumentare la consapevolezza dei politici e dei tecnici coinvolti in merito alle principali sfide naturali, ambientali e socio-economiche che dovranno affrontare nel prossimo futuro, sia per le successive analisi dei rischi e delle vulnerabilità.





2. Città di San Paolo di Jesi: analisi del contesto geografico e climatico

2.1 Contesto geografico



Piccolo castello nato tra le vigne e gli ulivi, tuttora fortemente legato alla produzione del vino Verdicchio, San Paolo di Jesi domina dai suoi 224 metri di altitudine la valle a destra del fiume Esino, ad appena 12 chilometri dalla città di Jesi. Il paese, con i suoi splendidi panorami, regala ottime passeggiate a quei turisti che apprezzano località tranquille e piaceri della tavola.

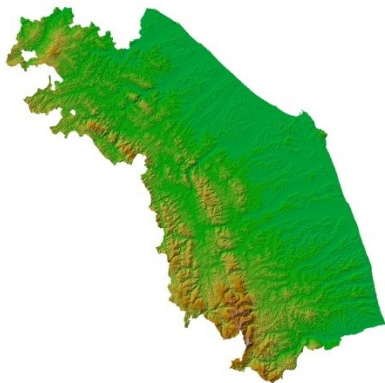
Il Comune ha una popolazione sotto i 1000 abitanti (933 nel 2015) ed una estensione superficiale di 10,7 Km² ed è posto a quote comprese tra i 105,0 e i 338,0 m s.l.m.; esso confina a Nord con il territorio del Comune di Monte Roberto e di Cupramontana, a Est con il territorio del Comune di Jesi, a Sud con il territorio di Staffolo e a Ovest con il territorio del Comune di Cupramontana.

San Paolo di Jesi è facilmente raggiungibile dai maggiori centri della vallata e della costa adriatica: dista 40 chilometri da Ancona (capoluogo di provincia), 25 chilometri dall'aeroporto di Falconara e appena 5 chilometri dall'ingresso/uscita della superstrada.

Il territorio non è attraversato dalla linea ferroviaria Ancona – Roma, ma sono facilmente raggiungibili le stazioni di Stazione e Jesi poste rispettivamente a 5 e 12 km.

L'origine del paese è collegata alla presenza nel territorio di una piccola chiesa dedicata San Paolo, forse appartenente ai monaci, dalla quale ha tratto origine il toponimo con cui venne indicato il primo nucleo abitato della zona. Dal 1863 è stata aggiunta alla denominazione tradizionale la specificazione "di Jesi".





Il territorio è caratterizzato da una morfologia collinare. L'urbanizzazione ricopre circa il 5 % del territorio, la rimanente porzione è interessata da terreni agricoli.

La maggior parte del territorio ricade in zona collinare ed è costituita prevalentemente da argille ed argille marnose con intercalazioni di arenarie, sabbie e conglomerati del Pliocene e del Pleistocene superiore.

Sui settori sommitali delle colline affiorano le arenarie, mentre sui versanti predominano le argille.

Proprio la presenza di terreni prevalentemente pelitici argillosi determina, in alcuni punti, la formazione dei calanchi, dovuti all'erosività dei terreni, alla acclività accentuata ed alla locale rarefazione della copertura vegetale.

In questo territorio sono presenti piccoli corsi d'acqua a carattere stagionale, favoriti dall'impermeabilità delle argille.

2.2 Contesto climatico

Le condizioni climatiche del territorio marchigiano sono influenzate dall'esposizione, ad oriente,

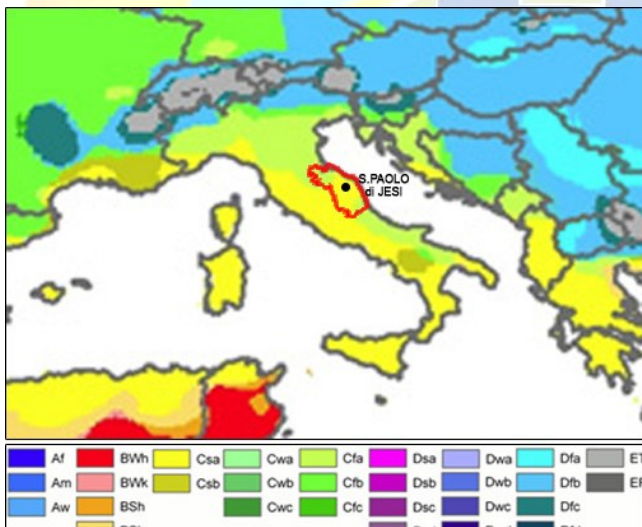


Figura 2.1 - Inquadramento del clima nella mappa della classificazione Köppen (University of Melbourne)

verso l'Adriatico che attribuisce un'impronta di marittimità alle zone prossime alla costa; ad occidente, invece, gioca un ruolo importante l'Appennino Umbro-Marchigiano, il quale ostacola il corso delle correnti provenienti da Ovest, per lo più temperate e umide, predominanti alle nostre latitudini. Tuttavia le grandi perturbazioni derivanti dall'Atlantico e le correnti che le accompagnano sono quelle che maggiormente influenzano le vicende meteorologiche locali, caratterizzate da spiccata variabilità o tempo instabile associato a nuvolosità e precipitazioni. Oltre a questo tipo di tempo, seppur in misura minore, vanno anche considerati i fenomeni derivanti dalle ciclogenesi mediterranee, spesso apportatrici di piogge abbondanti, come pure dai fronti freddi che direttamente scendono da settentrione ed

investono le località adriatiche determinando piogge, nevicate, venti forti di bora ed abbassamenti della temperatura. D'altra parte, le aree anticicloniche tropicali e del medio Atlantico favoriscono condizioni di tempo stabile associato a deboli venti meridionali e temperature al di sopra della norma.



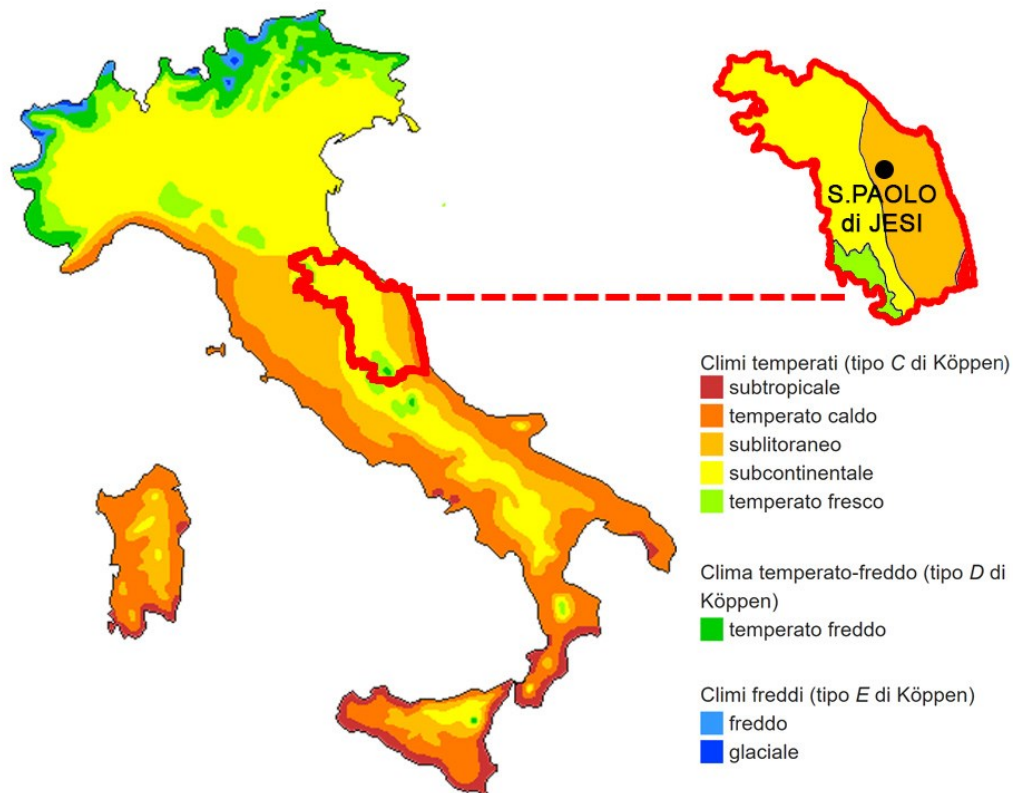


Figura 2.2 - Carta dei climi d'Italia (M. Pinna – 1969)

Secondo la classificazione climatica di Köppen (vedi Figura 2.1) il clima di San Paolo di Jesi è di tipo Csa, ovvero clima temperato umido con estate asciutta e molto calda, che si contraddistingue per:

C - Climi temperati delle medie latitudini: il mese più freddo ha una T media inferiore a 18°C ma superiore a -3°C; almeno un mese ha una T media superiore a 10°C. Pertanto i climi C hanno sia una stagione estiva sia una invernale.

s - Stagione estiva asciutta.

a - con estate molto calda; il mese più caldo è superiore a 22°C.

Secondo la classificazione climatica di Mario Pinna (vedi Figura 2.2), nella quale i climi temperati ricadono nel tipo C di Köppen ma seguono una classificazione diversa; il clima di San Paolo di Jesi è di tipo temperato sublitoraneo, proprio delle zone collinari medio-basse centro-meridionali delle Marche e della parte costiera fra Senigallia e Cupramarittima. Tale tipologia di clima è di transizione tra quello propriamente “mediterraneo” (clima Csa di Köppen) e quello “subcontinentale” (clima Cfa di Köppen, o clima temperato piovoso).



In sintesi, trovandosi in una posizione di passaggio tra il clima mediterraneo e quello subcontinentale, il territorio in esame presenta caratteri climatici dell'uno o dell'altro tipo, a seconda della circolazione atmosferica globale.

In particolare, il clima di San Paolo di Jesi è di tipo temperato sublitoraneo, tipico delle zone interne centro-meridionali della penisola italiana (zona climatica D, così come definita dal DPR n°412 del 26-08-1993). La temperatura media annua è di circa 14°C, con una stagione calda che va da giugno a settembre compresi e con quella invernale che denota soprattutto una evidente diminuzione dei valori delle temperature minime notturne. In particolare sono le escursioni termiche diurne a subire una sensibile accentuazione sia nei periodi invernali che in quelli estivi, in cui i livelli termici massimi hanno talvolta superato i 40 °C. Le precipitazioni sono ripartite abbastanza uniformemente nell'arco dell'anno, con la consueta contrazione estiva ed un incremento negli ultimi mesi. I giorni con nevicate oscillano mediamente fra 3 ed 8, con un massimo di probabilità nel mese di febbraio. Frequenti, perlopiù da ottobre ad aprile, sono le foschie e le nebbie (fonte: OGSM - Centro di Ecologia e Climatologia Osservatorio Geofisico Sperimentale).

| | Tmedia per JESI (°C) | Tmin per JESI (°C) | Tmax per JESI (°C) | PRECIPITAZIONI medie per JESI (mm) |
|-------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|
| GENNAIO | 5.0 | 1.3 | 8.8 | 54 |
| FEBBRAIO | 6.4 | 2.2 | 10.6 | 57 |
| MARZO | 9.4 | 4.7 | 14.2 | 67 |
| APRILE | 12.9 | 7.6 | 18.1 | 66 |
| MAGGIO | 17.3 | 11.6 | 23.0 | 59 |
| GIUGNO | 21.4 | 15.5 | 27.4 | 56 |
| LUGLIO | 24.1 | 17.8 | 30.3 | 43 |
| AGOSTO | 23.9 | 17.9 | 30.0 | 57 |
| SETTEMBRE | 20.0 | 14.5 | 25.6 | 73 |
| OTTOBRE | 15.4 | 10.7 | 20.1 | 74 |
| NOVEMBRE | 8.1 | 4.4 | 11.8 | 90 |
| DICEMBRE | 5.7 | 2.1 | 9.4 | 81 |
| ANNO | 14.1 | 9.2 | 19.1 | 778.5 |

Dati climatici medi relativi alle stazioni meteorologiche di Jesi (Fonte dati elaborati: Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche).

Figura 2.3 – Valori medi della serie di dati climatici per la stazione di Jesi





Di seguito si propone la normale climatica relativa al CLINO 1971 – 2000 (assunto come base di riferimento per le elaborazioni dei trend e degli indici) elaborata sui dati del Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche, stazione di Jesi (si veda successivo Capitolo 3).

Risulta una temperatura media annua di 14.4°C (media invernale 5.9°C, primaverile 13.1°C, estiva 23.0°C, autunnale 15.0°C), con le temperature più basse che si registrano nei mesi di gennaio e febbraio, le più alte nei mesi di luglio ed agosto; la media annua delle precipitazioni è di circa 750 mm e si verificano per il 30% in autunno, 25% in primavera, 23% in inverno, 22% in estate. Nei valori sono comprese le precipitazioni nevose.

Valori normali periodo 1971 – 2000

Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche - Stazione di Jesi

| Mese | Media PR (mm) | Media Tx (°C) | Media Tn (°C) | Media Tm (°C) |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| gennaio | 47.4 | 8.9 | 1.5 | 5.2 |
| febbraio | 51.7 | 10.4 | 2.3 | 6.4 |
| marzo | 63.5 | 14.1 | 4.7 | 9.4 |
| aprile | 64.8 | 17.7 | 7.5 | 12.6 |
| maggio | 54.6 | 22.8 | 11.6 | 17.2 |
| giugno | 56.3 | 27.0 | 15.3 | 21.1 |
| luglio | 41.1 | 30.1 | 17.7 | 23.9 |
| agosto | 60.5 | 29.9 | 17.9 | 23.9 |
| settembre | 70.8 | 25.5 | 14.6 | 20.0 |
| ottobre | 71.0 | 19.8 | 10.7 | 15.2 |
| novembre | 86.1 | 13.7 | 6.1 | 9.9 |
| dicembre | 75.7 | 10.0 | 2.9 | 6.5 |

Valori normali periodo 1971 – 2000

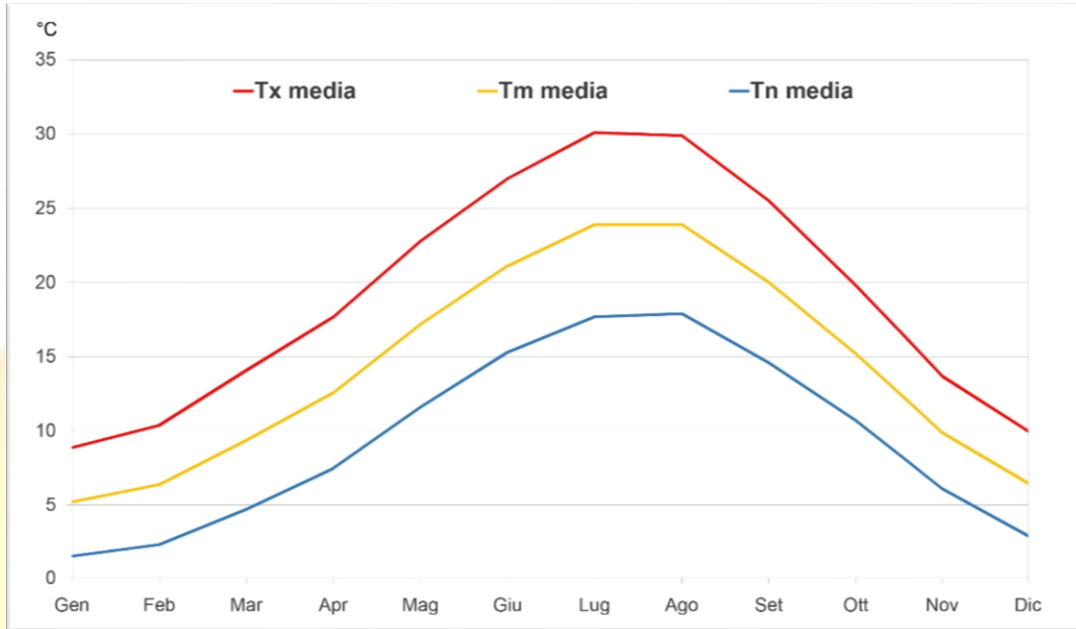
Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche - Stazione di Jesi

| Stagione | Media PR (mm) | Media Tx (°C) | Media Tn (°C) | Media Tm (°C) |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| inverno | 174.2 | 9.6 | 2.1 | 5.9 |
| primavera | 182.2 | 18.2 | 7.9 | 13.1 |
| estate | 164.2 | 29.0 | 17.0 | 23.0 |
| autunno | 226.3 | 19.7 | 10.4 | 15.0 |
| anno | 747.1 | 19.2 | 9.4 | 14.3 |





Valori normali Temperatura periodo 1971 – 2000
Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche - Stazione di Jesi



Valori normali Precipitazioni periodo 1971 – 2000
Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche - Stazione di Jesi





3. Serie climatiche, controllo qualità del dato e approccio metodologico di analisi

3.1 Serie climatiche e controllo della qualità del dato

Le analisi climatologiche condotte dai 12 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 data-set originale, è stata derivata dalla media aritmetica, tra temperature minima e massima ($\frac{Tn_{(i)} + Tx_{(i)}}{2}$) giornaliera.

In riferimento a ogni realtà comunale (con l'eccezione del comune di Pesaro e Urbino) le serie climatiche sono state fornite dal "Centro Funzionale della Protezione Civile" della Regione Marche che in seguito al Dlgs 112/98 del 24 luglio 2002 rappresenta l'Istituzione incaricata della raccolta e archiviazione delle serie climatiche generate dalla rete meteorologica regionale.

Il Centro Funzionale della Protezione Civile regionale fornisce un dato già preliminarmente sottoposto a una fase di validazione mirata alla valutazione e miglioramento della qualità delle serie. Il controllo della qualità delle serie storiche rappresenta un processo propedeutico ed essenziale ai fini di una coerente analisi climatologica.

Nello specifico, per il territorio in cui ricadono i comuni di Jesi, Santa Maria Nuova e San Paolo di Jesi, inquadrabile in un'unica zona affine, si è ritenuto opportuno prendere come stazione di riferimento quella di Jesi, in quanto più rappresentativa ai fini di un'analisi climatica del territorio e per la quale si hanno a disposizione dati climatici attendibili.

Per quanto riguarda le precipitazioni, la stazione meccanica di Jesi 1890 riporta dati dal 01/01/1957 al 31/12/2007, mentre la stazione in telemetria di Jesi 110 inizia a fornire dei dati dal 01/01/2005. La posizione geografica delle due stazioni non è variata in modo sostanziale (stazione 1890: long. 13.24 ; lat. 43.52 ; 96 m.s.l.m. - stazione 110: long. 13.22 ; lat. 43.53 ; 100 m.s.l.m.).

Le due serie hanno quindi un periodo di 'sovrapposizione' temporale; da un confronto puntuale, per questo periodo in cui si hanno a disposizione due serie di dati, è emerso che i dati provenienti dalla rete meccanica 1890 è più affidabile soprattutto per la continuità dei dati (la rete in telemetria ha probabilmente avuto un periodo di fase di avvio); pertanto si è scelto di fare riferimento ai dati provenienti dalla rete Meccanica 1890 fino alla data del 31/12/2007 e poi riferirsi ai dati provenienti dalla rete in telemetria dal 01/01/2008.

Per le serie storiche delle temperature si sono presi i dati della stazione meccanica 1890 che fornisce i dati dal 01/01/1957 al 01/07/2008 e della stazione in telemetria 110, i cui dati sono forniti dal 01/01/2010. Pertanto c'è un salto temporale dei dati storici relativi alla temperatura che va dal 01/08/2008 al 31/12/2009. Inoltre dall'analisi dei dati risulta una mancanza dei dati anche per l'intero anno 1983.





Per quanto riguarda i dati delle anomalie delle temperature, si è proceduto prendendo come riferimento le serie storiche delle temperature della stazione di Ancona Torrette (per le quali sono disponibili le serie storiche omogeneizzate delle temperature massime e minime, stazione 1900 in rete meccanica dal 01/01/1957 al 31/12/2003 e stazione 701 della rete in telemetria dal 14/10/2013 al 31/12/2015).

Sono state calcolate giornalmente le differenze di temperatura massima tra la stazione di Jesi e quella di Ancona Torrette, calcolando la media della differenza di temperatura per ogni mese dell'anno; quindi i valori mancanti della temperatura di Jesi sono stati stimati prendendo la corrispondente temperatura rilevata dalla stazione di Ancona Torrette alla quale si è sommato il valore di differenza relativa per il corrispondente mese.

I valori di calcolo medi riferiti ad ogni mese dell'anno, sono riportati nella seguente tabella:

| mese | MEDIA DeltaTX = TMAX_jesi - TMAX_ancona [°C] | MEDIA DeltaTN = Tmin_jesi - Tmin_ancona [°C] |
|-----------|--|--|
| gennaio | 1.09 | -0.97 |
| febbraio | 0.30 | -1.84 |
| marzo | 0.46 | -1.68 |
| aprile | 0.51 | -1.79 |
| maggio | 2.07 | -0.64 |
| giugno | 0.75 | -1.99 |
| luglio | 0.88 | -2.27 |
| agosto | 2.56 | -0.64 |
| settembre | -1.64 | -4.47 |
| ottobre | -2.63 | -4.78 |
| novembre | -1.58 | -3.37 |
| dicembre | -1.12 | -2.80 |

Per il *Quality Control* dei dati meteorologici, si è utilizzato la procedura prevista dal software *R CIm pact2*, che esegue una serie di test per evidenziare eventuali dati anomali sulla base di alcune soglie:

- *flatline*: presenza di valori ripetuti 4 volte consecutivamente
- *rounding*: frequenza distribuzione decimali
- *duplicates*; duplicazione delle date





- *jumps*: differenza di T tra giorni consecutivi $> 20^{\circ}\text{C}$
- *tmaxmin*: presenza di $T_n > T_x$
- *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 interquartile.

17

Per quanto riguarda il *flatline* si è riscontrato una sola segnalazione per di un valore di T_x ripetuto nell'aprile 1961 che tuttavia è stato ritenuto corretto.

Per quanto riguarda *roundin* e *duplicates* non si sono evidenziati errori.

Per quanto riguarda i *jumps* per T_x non si sono evidenziate irregolarità, mentre per T_n si è corretto per il giorno 20/05/1978 un segno negativo (11.6 al posto di -11.6°C).

Per la presenza di *tmaxmin* seguendo il procedimento sopra descritto, sono stati corrette le seguenti coppie di valori di temperatura (T_x, T_n): per il 11/06/1975 (15.2,16.8) corretto con (21.4,12.0), per il 07/03/1976 (3,3) corretto con (4.7,-1.1), per il 09/03/1976 (2.7,2.9) corretto con (3.9,-0.2), per il 29/07/2004 (25.4,31.1) corretto con (29.8,17.8).

Per quanto riguarda i *nastatistics* per si è ritenuto opportuno integrare i dati mancanti delle temperature di n.4 giorni dell'anno 2010 (15-16-17-18 gennaio), con i valori stimati con il metodo sopra descritto (pertanto le T_x e le T_n diventano rispettivamente: 10.3,2.2; 7.7,3.9; 9.4,1.4; 6.0,2.5). Per gli anni 1983, 2008 e 2009, in considerazione della mancanza di dati riferiti alle temperature per periodo consecutivo relativamente lungo, si è ritenuto opportuno non integrare i dati con le stime derivanti dalla stazione di Ancona-Torrette.

Per quanto riguarda l'analisi dei *outliers*, è stato ritenuto corretto apportare le seguenti modifiche: il 18/08/1967 le temperature (T_x, T_n) sono state corrette da (37.5,7) a (33.9,20.7).





3.2 Approccio metodologico e analisi condotte

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 i trend delle anomalie di precipitazione (Pr), temperatura media (Tm), minima (Tn) e massima (Tx), durante il periodo 1961-2015 relative al trentennio di riferimento (CLINO 1971-2000) per ogni realtà locale. L'anomalia per le precipitazioni riporta lo scostamento percentuale tra l'accumulo annuale/stagionale e quello medio del CLINO; per le temperature, lo scostamento in [°C] è riferito alle medie annuali/stagionali rispetto ai valori del medesimo trentennio di riferimento.

La significatività statistica e intensità dei trend, è derivata attraverso 3 coefficienti: Tau e p_value derivanti dal test statistico Mann-Kendall (MK; Kendall et al., 1968; Yue et al. 2002b; Sneyers 1998) e la slope Theil-Sen (TS slope) (Yue et al., 2002a) (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 (H0), che assume che la serie in analisi non sia caratterizzata dalla presenza di trend. Il MK fornisce due dei tre coefficienti precedentemente citati. 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. Un Tau positivo indicherà una correlazione > 0 tra le due variabili e quindi un trend positivo; viceversa una correlazione < 0 negativa indicherà un trend negativo.

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

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 slope) (Yue et al., 2002). Relativamente a quest'ultimo approccio, per evitare ripercussioni negative sulla coerente quantificazione del trend, determinate dal potenziale carattere auto-regressivo della serie in analisi, la serie è stata precedentemente sottoposta a "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 della retta interpolante la serie secondo l'approccio TS.

Per il calcolo dei due coefficienti relativi al test MK e della slope con il metodo TS si sono utilizzati gli algoritmi presenti nei pacchetti applicativi "Kendall" e "zyp" del software R (<https://www.r-project.org/>).

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 (vedi tabelle capitolo 5).





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.a Anomalie Precipitazioni

I risultati dell'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni sono riportati nella tabella 4a.1 di seguito proposta:

| | Mann-Kendall – Tau | Mann-Kendall 2-sided p_value | Thiel-Sen slope |
|-----------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Annual_Pr | -0,001 | 0,994 | -0,002 |
| Autumn_Pr | 0,094 | 0,316 | 0,400 |
| Spring_Pr | 0,050 | 0,596 | 0,225 |
| Summer_Pr | -0,092 | 0,324 | -0,362 |
| Winter_Pr | -0,039 | 0,679 | -0,153 |

Tabella 4a.1 - Coefficienti statistici considerati per l'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni totali annuali e stagionali

Dalla disamina della tabella 4a.1 si evince che le precipitazioni annuali, seppur in maniera quasi impercettibile, tendono a diminuire (-0.002%/anno).

La significatività statistica dei trend mostra tuttavia valori di p_value piuttosto elevati rispetto alla soglia di 0.05; in tali casi i trend riportati non possono essere considerati statisticamente certi.





Nello specifico, a fronte di un aumento notevole durante la stagione autunnale (+0.40%/anno) e di un aumento medio durante la stagione primaverile (+0.22%/anno), si assiste ad una diminuzione notevole durante la stagione estiva (-0.36%/anno) e ad una diminuzione minima durante la stagione invernale (-0.15%/anno).



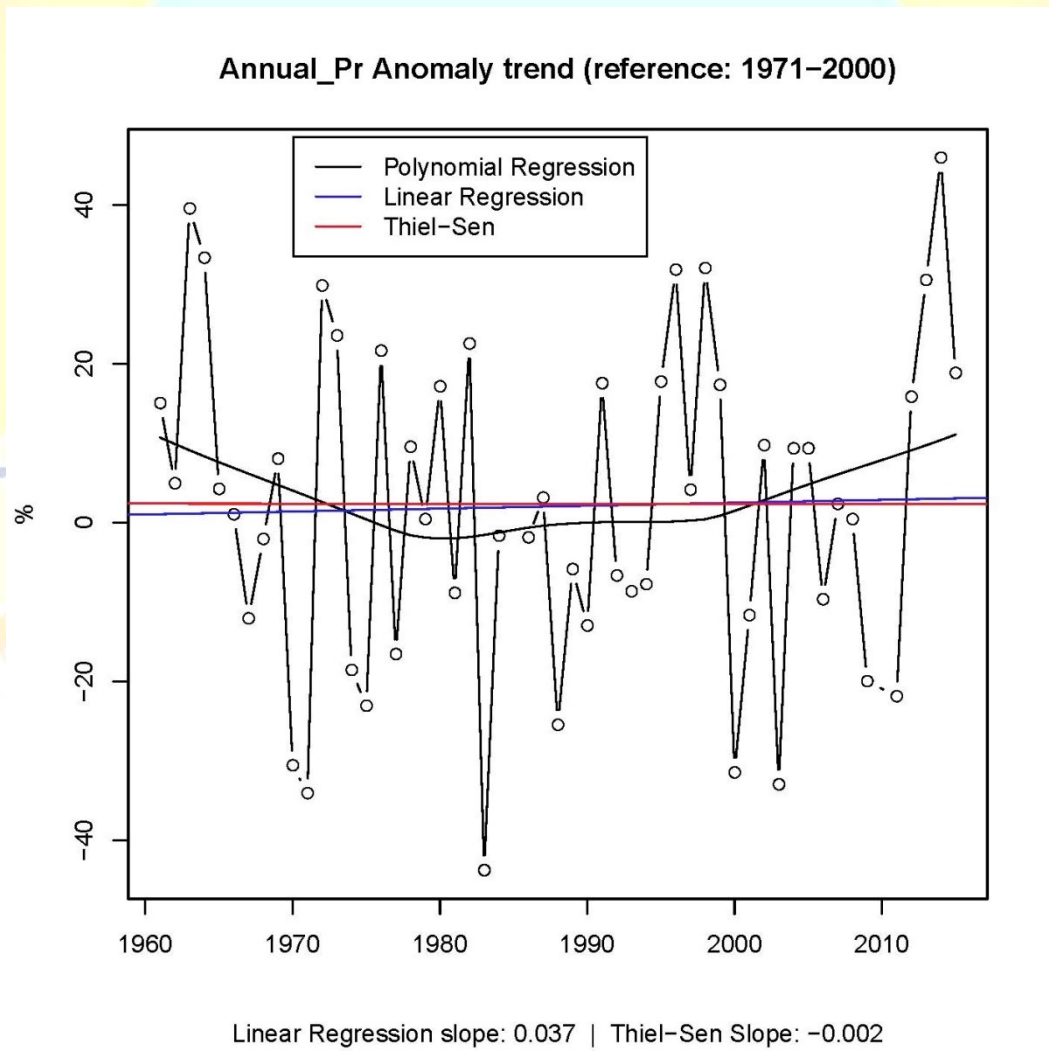


Per quanto riguarda il trend delle precipitazioni, dall'analisi dei report, ad esclusione di autunno ed estate, risultano differenze tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (linear regression) e non parametrico (Thiel-Sen slope).

Il trend annuale presenta un andamento piuttosto articolato, con decrescita fino alla fine degli anni '70, un incremento moderato fino agli inizi del 2000, e una crescita dal 2000 ad oggi.

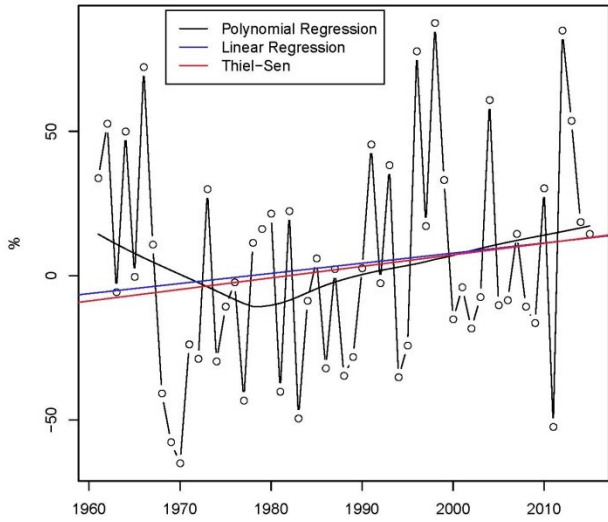
Il trend invernale ha un andamento molto simile a quello annuale, ma quantitativamente doppio, mentre per il trend estivo la regressione polinomiale evidenzia una progressiva diminuzione del regime precipitativo.

Il trend autunnale mostra un andamento di decrescita a fine anni '70, seguito da una crescita piuttosto costante fino ad oggi. Il trend primaverile mostra un andamento di decrescita fino alla metà degli anni '90, seguito da una crescita notevole fino ad oggi.



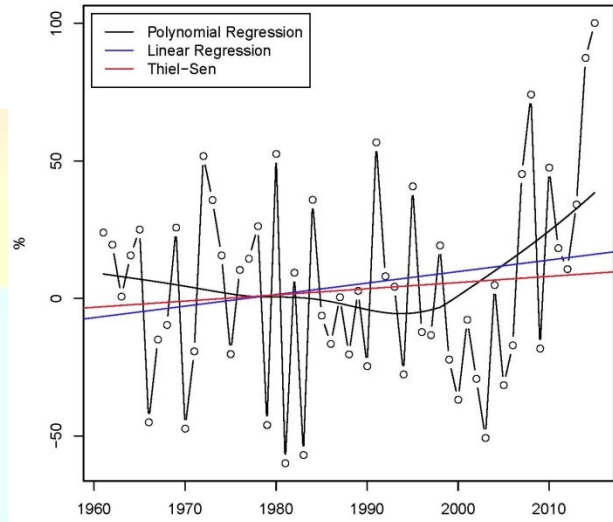


Autumn_Pr Anomaly trend (reference: 1971–2000)



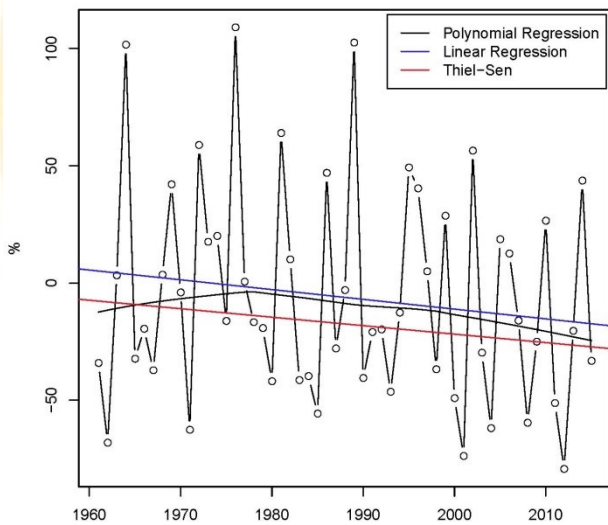
Linear Regression slope: 0.351 | Thiel-Sen Slope: 0.4

Spring_Pr Anomaly trend (reference: 1971–2000)



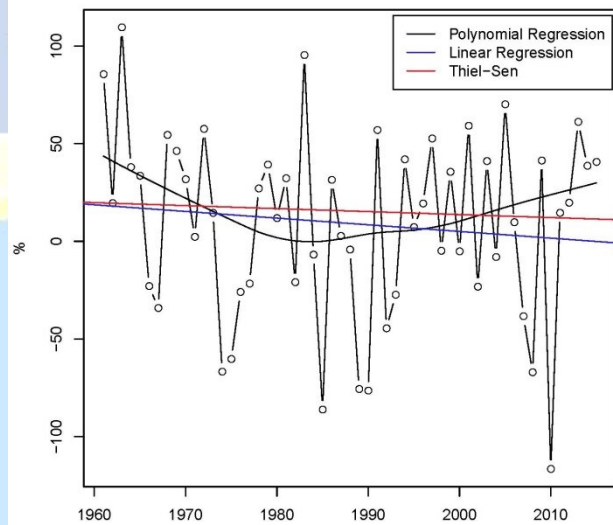
Linear Regression slope: 0.419 | Thiel-Sen Slope: 0.225

Summer_Pr Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: -0.417 | Thiel-Sen Slope: -0.362

Winter_Pr Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: -0.341 | Thiel-Sen Slope: -0.153

Figura 4.2.1 – Trend delle anomalie delle temperature medie annuali e stagionali.





4.b Anomalie Temperature

I risultati dell'analisi dei trend delle anomalie delle temperature sono riportati nella tabella 4b.1 di seguito proposta:

| | Mann-Kendall – Tau | Mann-Kendall 2-sided p_value | Thiel-Sen slope |
|-----------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Annual_Tm | 0,329 | 0,001 | 0,022 |
| Autumn_Tm | 0,146 | 0,131 | 0,014 |
| Spring_Tm | 0,178 | 0,067 | 0,017 |
| Summer_Tm | 0,308 | 0,001 | 0,027 |
| Winter_Tm | 0,239 | 0,014 | 0,025 |
| Annual_Tn | 0,328 | 0,001 | 0,043 |
| Autumn_Tn | 0,219 | 0,024 | 0,034 |
| Spring_Tn | 0,300 | 0,002 | 0,038 |
| Summer_Tn | 0,374 | 0,000 | 0,053 |
| Winter_Tn | 0,318 | 0,001 | 0,031 |
| Annual_Tx | 0,066 | 0,505 | 0,005 |
| Autumn_Tx | -0,054 | 0,586 | -0,005 |
| Spring_Tx | -0,002 | 0,987 | 0,000 |
| Summer_Tx | 0,055 | 0,575 | 0,005 |
| Winter_Tx | 0,123 | 0,206 | 0,016 |

Tabella 4b.1 - Coefficienti statistici considerati per l'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni totali annuali e stagionali

Dalla disamina della tabella 4b.1 il segnale termico relativo al periodo oggetto dello studio - 1961-2015, calcolato sull'anomalia relativa al CLINO 1971-2000 - mostra un trend di crescita sia annuale che stagionale, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui risultano dunque di +0.043°C/anno per i valori minimi (Tn), di +0.005°C/anno per i valori massimi (Tx) e di +0.022°C/anno per i valori medi (Tm).

La significatività statistica calcolata è comprovata per tutte le stagioni e per l'intero anno (p_value sempre < 0,05) sia per i trend delle Tm che delle Tn (eccezion fatta per il trend della Tm autunnale





e primaverile con un p_value di poco superiore la soglia), con alcuni valori prossimi allo zero, a conferma del fatto che la tendenza è assolutamente certa. Nello specifico il trend autunnale risulta apprezzabilmente non significativo ($p_value 0.131$), mentre il trend primaverile è leggermente non significativo ($p_value 0.067$).

La significatività statistica del trend T_x non è comprovata né per l'intero anno né per tutte le stagioni.

In sintesi, considerando l'intero periodo oggetto dello studio, dal 1961 l'aumento delle T_m risulta di circa 1.2°C , con un aumento di circa 0.9°C in autunno e primavera, e circa 1.4°C in estate e inverno. Le T_n mostrano un segnale positivo compreso tra 1.7°C in inverno e 2.8°C in estate. L'incremento annuo delle T_n risulta notevole e si attesta a circa 2.4°C . Le T_x mostrano un segnale di incremento assai minore rispetto alle T_n , mostrando un piccolo aumento medio, sull'intero periodo di studio, di circa 0.2°C . Si evidenzia una leggera diminuzione della T_x nella sola stagione autunnale (0.2°C), ed un aumento nel periodo invernale (0.9°C).





Trend Anomalie Temperature Medie (Tm)

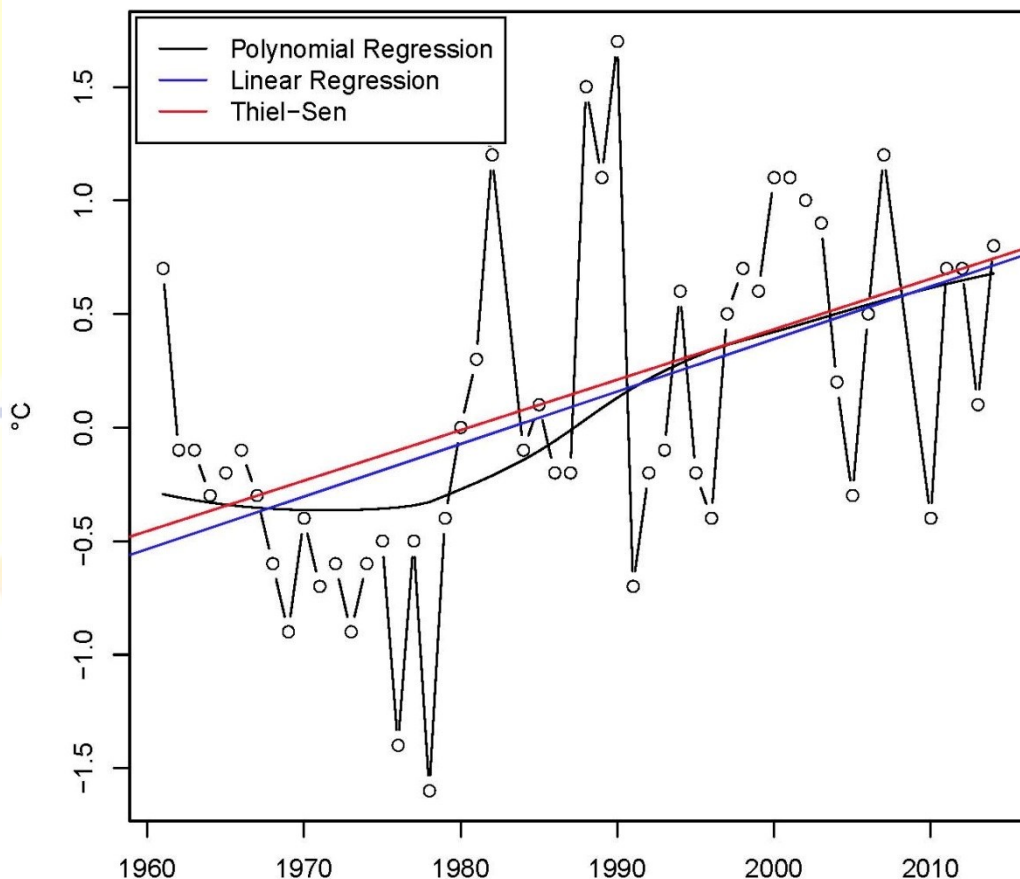
Dall'osservazione dei grafici si evidenzia che i trend delle Tm sono sempre positivi, sia nel riferimento annuale che stagionale. La massima pendenza del trend si riscontra comunque in estate, dove si ha uno slope di $+0.027\text{C}/\text{anno}$, indicando che è in tale stagione che si assiste al maggior aumento della temperatura media. Tendenza simile si riscontra per le Tm invernali.

In tutti i grafici si osserva una similarità nel comportamento delle rette interpolanti (linear regression e Thiel-Sen slope).

Per le stagioni autunno e primavera, risultate non statisticamente significative, le funzioni interpolanti di ordine superiore evidenziano un minimo a fine anni '70 e un lievo flesso a cavallo degli anni '90.

SERIE ANNUALE

Annual_Tm Anomaly trend (reference: 1971–2000)



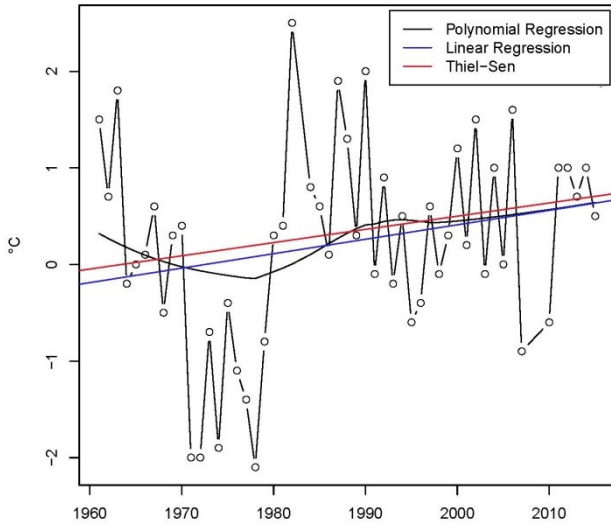
Linear Regression slope: 0.023 | Thiel-Sen Slope: 0.022





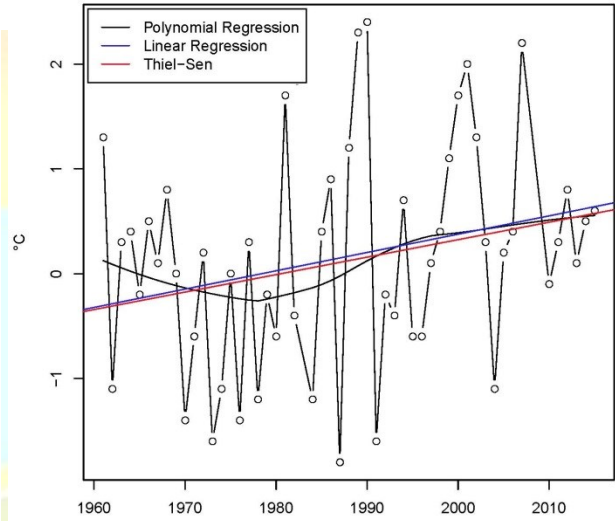
SERIE STAGIONALE

Autumn_Tm Anomaly trend (reference: 1971–2000)



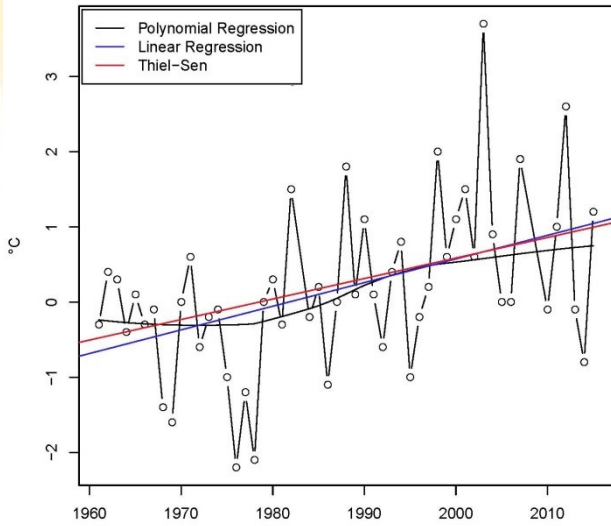
Linear Regression slope: 0.015 | Thiel-Sen Slope: 0.014

Spring_Tm Anomaly trend (reference: 1971–2000)



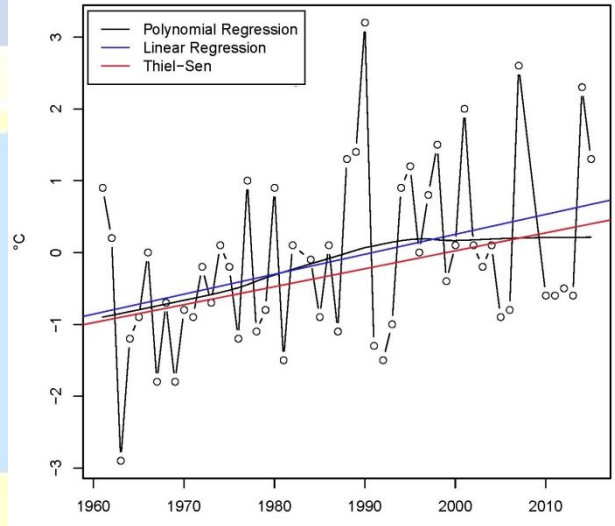
Linear Regression slope: 0.017 | Thiel-Sen Slope: 0.017

Summer_Tm Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: 0.031 | Thiel-Sen Slope: 0.027

Winter_Tm Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: 0.028 | Thiel-Sen Slope: 0.025

figura 4b.1 – Trend delle anomalie delle temperature medie annuali e stagionali





Trend Anomalie Temperature Minime (Tn)

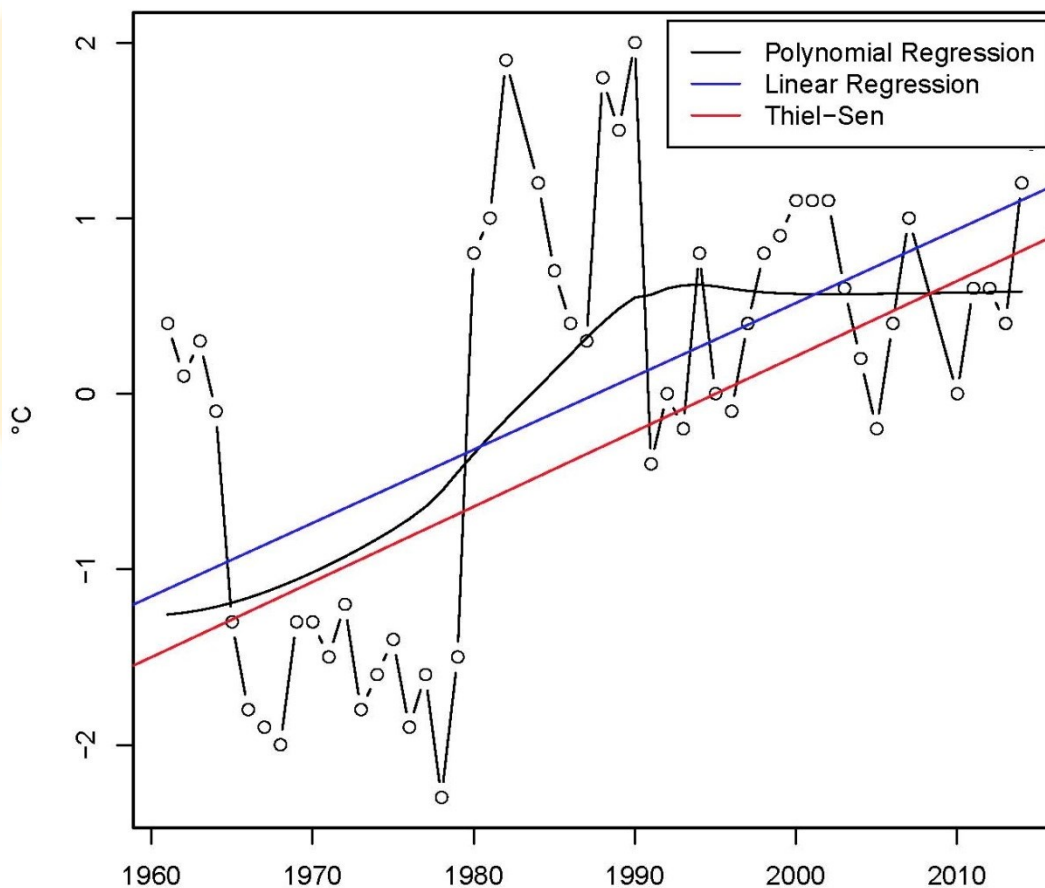
Come nel caso delle Tm, anche per le Tn i trend risultano sempre positivi, con un aumento massimo durante la stagione estiva (+0.053°C/anno), a differenza degli altri trend stagionali che registrano aumenti più contenuti, di circa +0.035°C/anno.

Non si osservano scostamenti significativi tra il comportamento delle due rette interpolanti lineari (linear regression e Thiel-Sen slope), che anzi mostrano sovente una quasi totale identità.

Il comportamento delle polinomiali evidenzia un flesso in corrispondenza degli anni '80 (stagione autunnale, primaverile, estiva), causato da annate "sottomedie" e da un successivo intenso incremento termico evidenziato da un deciso outlier negativo e positivo. Per la stagione invernale il segnale risulta più equilibrato

SERIE ANNUALE

Annual_Tn Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: 0.042 | Thiel-Sen Slope: 0.043





SERIE STAGIONALE

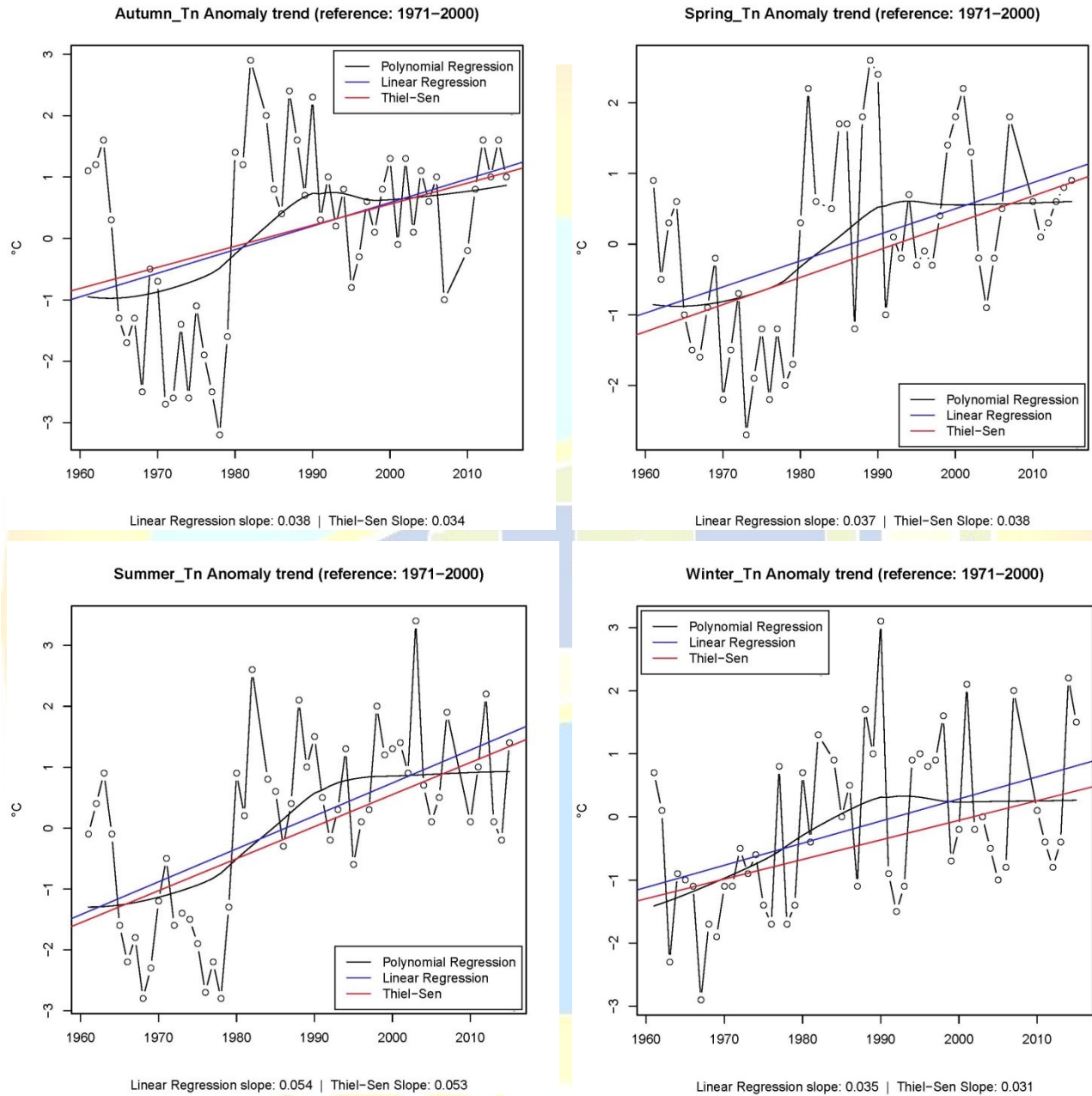


figura 4b.2 – Trend delle anomalie delle temperature minime annuali e stagionali.





Trend Anomalie Temperature Massime (Tx)

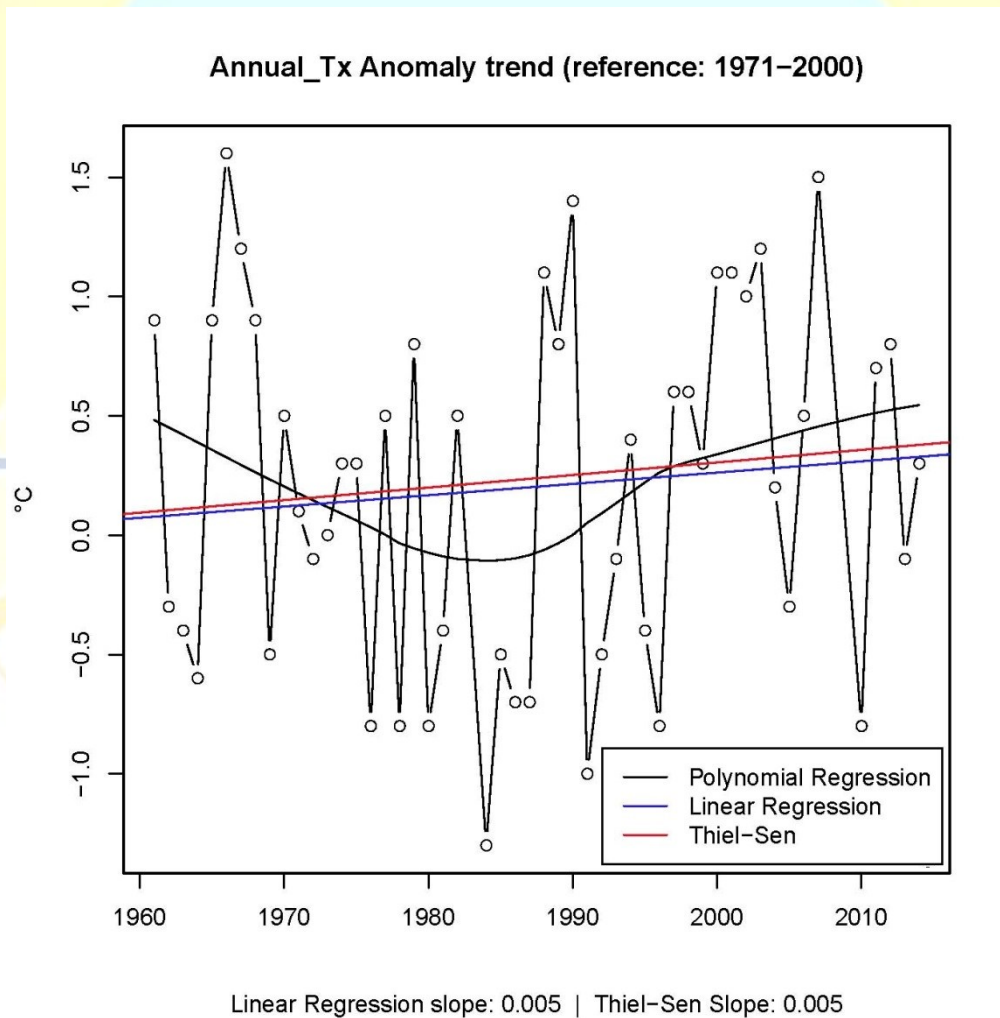
Premettendo che i trend non risultano statisticamente significativi, il trend delle temperature massime (figura 4b.3) evidenzerebbe per tutte le stagioni e per l'anno un rallentamento dell'incremento termico, in contrasto con quanto mediamente avviene per le Tm.

L'andamento delle due differenti interpolanti lineari risulta simile, con unica eccezione della stagione autunnale in cui il trend parametrico mostra un decremento. Il comportamento dell'interpolante polinomiale evidenzia un flesso in corrispondenza della metà degli anni '90.

Lo slope stagionale è prossimo allo zero in tutte le stagioni, ad eccezione del periodo invernale in cui si registra un aumento (+0.016°C/anno).

Si evidenzia un outlier positivo relativo all'estate del 2003 (quasi 4°C oltre la media del CLINO di riferimento).

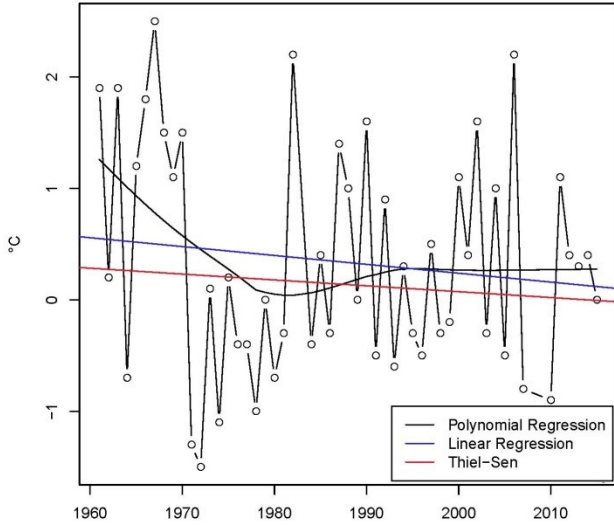
SERIE ANNUALE





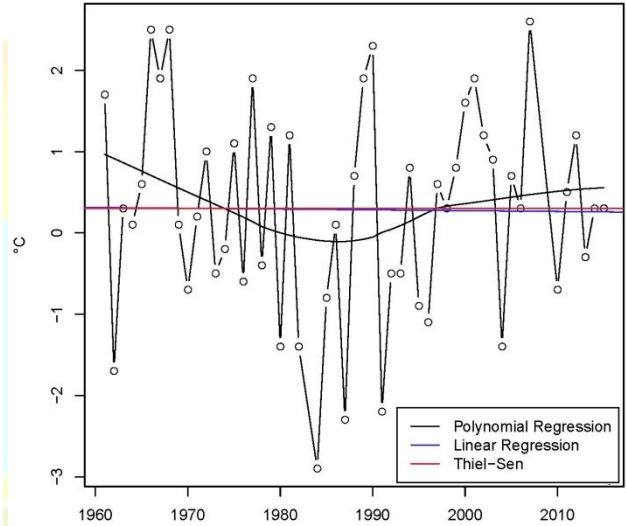
SERIE STAGIONALE

Autumn_Tx Anomaly trend (reference: 1971–2000)



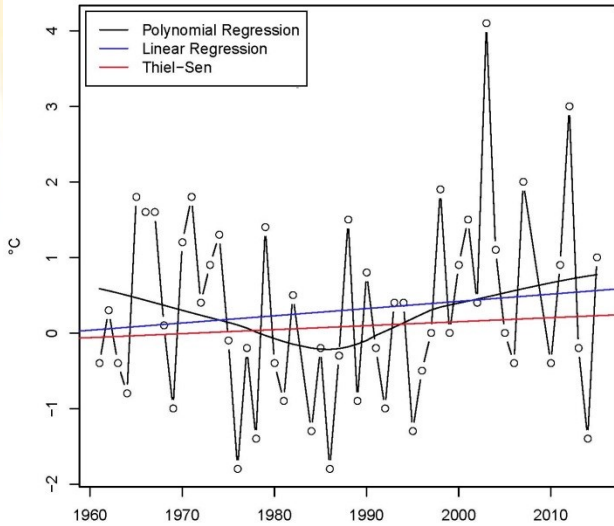
Linear Regression slope: -0.008 | Thiel-Sen Slope: -0.005

Spring_Tx Anomaly trend (reference: 1971–2000)



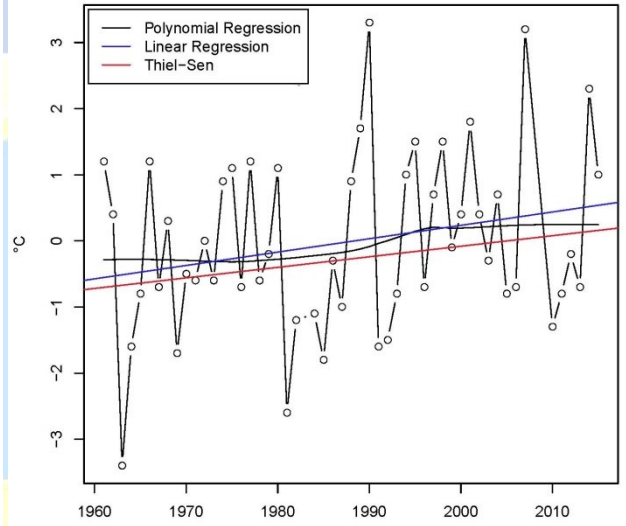
Linear Regression slope: -0.001 | Thiel-Sen Slope: 0

Summer_Tx Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: 0.01 | Thiel-Sen Slope: 0.005

Winter_Tx Anomaly trend (reference: 1971–2000)



Linear Regression slope: 0.02 | Thiel-Sen Slope: 0.016

figura 4b.3 – Trend delle anomalie delle temperature massime annuali e stagionali.





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 Life 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 14 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 anche considerato 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 relativi alla stazione di Jesi del Centro Funzionale della Protezione Civile regionale:

| | |
|-----------------------|-------------|
| Station: | Jesi |
| Series period: | 1961 – 2015 |
| Latitude: | 43.49 |
| Longitude: | 13.12 |
| Base Period: | 1971 – 2000 |
| Elevation: | 96 m s.l.m. |





5.a Indici Climatici Precipitazioni

| Index | Definition | Units | Indices | Slope | STD_of_Slope | P_Value |
|--|--|--------|---------|---------------|--------------|--------------|
| RX1day (Max 1-day precipitation amount) | Maximum value of 1-day precipitation | mm | rx1day | -0,036 | 0,184 | 0,846 |
| R95p (Very wet days) | Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period | mm | r95p | 0,736 | 0,814 | 0,37 |
| 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 | 0,027 | 0,01 | 0,012 |
| CDD (Consecutive Dry Days) | Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm | mm | cdd | 0,113 | 0,067 | 0,096 |
| R20 (Very heavy precipitation days) | Annual count of days when daily PRCP \geq 20 mm | days | r20mm | 0,019 | 0,03 | 0,536 |

Tabella 5a.1 – Indici estremi e relativi coefficienti statistici considerati per le precipitazioni

Come 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 capitolo 4), allo stesso modo i trend degli indici estremi non risultano statisticamente significativi (*p_value sempre > 0,05*), fatta eccezione per il *SDII (Simple Daily Intensity Index)*, con un andamento crescente a partire dalla fine degli anni '70.

Non si osservano dunque tendenze ben definite di variazione sia per quanto riguarda gli indici relativi all'evoluzione temporale di precipitazioni intense come precipitazioni massime giornaliere (RX1day), l'indice di intensità di pioggia (SDII) e l'indice di precipitazioni > di 20 mm (R20) che mostrano una pendenza della retta interpolante praticamente nulla e un andamento di crescita moderata costante per tutto il periodo di riferimento, ad eccezione dell'*RX1day* che mostra un andamento decrescente moderato costante.



L'andamento di crescita moderata costante per tutto il periodo di riferimento è confermato anche per l'indice dei giorni consecutivi senza precipitazione (CDD), seppur l'incremento risulta più elevato (0.113).

L'indice di precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) segue un andamento crescente molto elevato (0.736), anche se la significatività statistica non è comprovata.

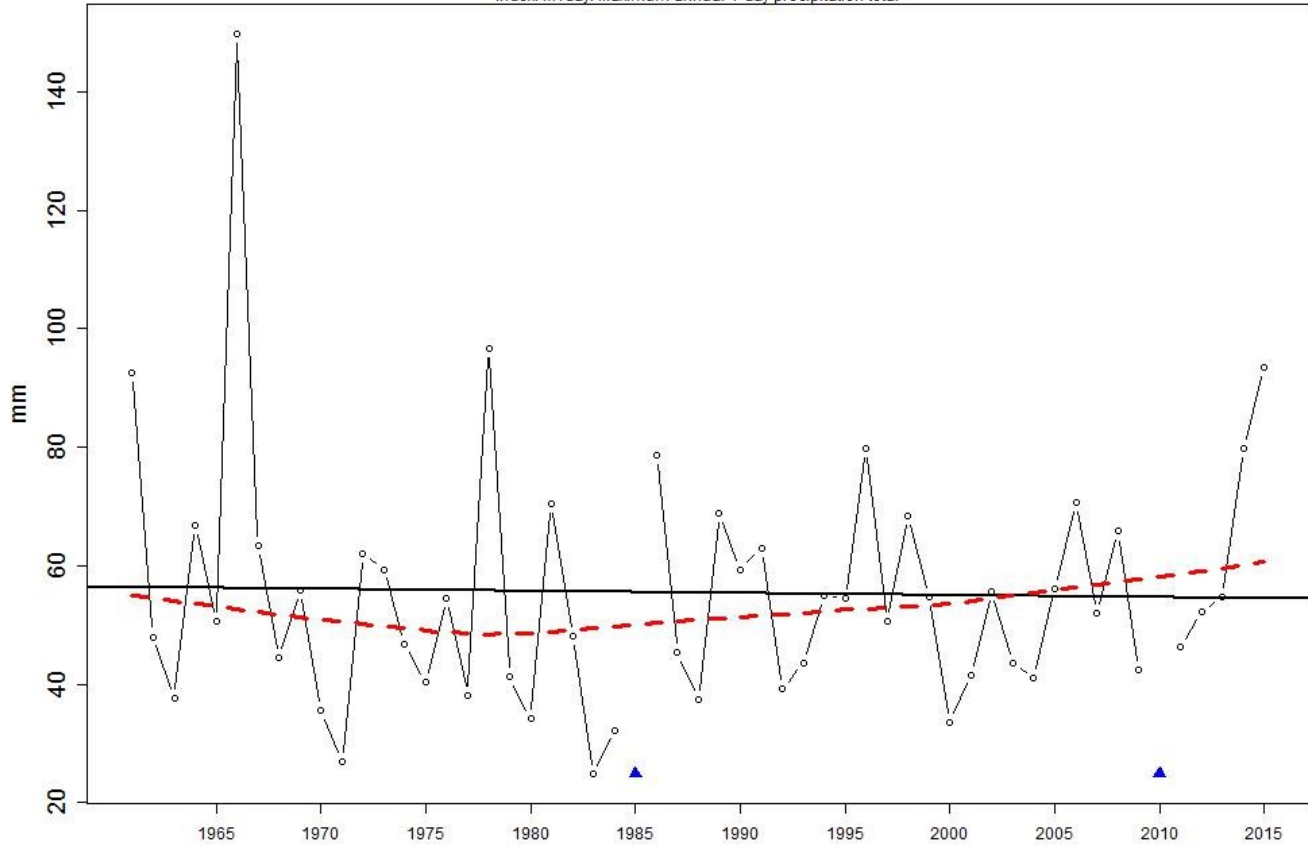
Si potrebbe sinteticamente concludere che nell'arco di tempo considerato, come constatato per le variazioni dei valori medi annuali e stagionali, non si assiste a un cambiamento significativo dei caratteri "estremi" del regime precipitativo locale. Questo sottolinea come la risposta al *forcing antropogenico* delle precipitazioni sia differente da quello delle temperature che al contrario mostrano severi incrementi. Una risposta "latente" delle precipitazioni è comunque attesa, dovuta all'intrinseca maggior complessità che ne determina la variabilità (sia per quanto riguarda valori medi che estremi), governata da meccanismi fisici e oscillazioni che si manifestano lungo periodi considerevolmente lunghi (Quadrelli et al. 2001; Toreti et al. 2009; Toreti et al. 2010; Seager et al. 2012). Ad ogni modo è interessante notare una discrepanza tra i segni dei trend riferiti a valori medi e quelli agli estremi. Va infatti sottolineato che, contrariamente ai valori medi che mostravano trend non significativamente negativi, i trend degli indici mostrano tutti segnali positivi. Questo ci indica come attualmente e ancor più in futuro le precipitazioni estreme subiranno mutamenti svincolati da quelli relativi ai valori medi (Giorgi and Lionello 2008).





Station: JESI_1960-2015 [43.498383°N, 13.129262°E]

Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total



Linear trend slope= -0.036 Slope error= 0.184 , p-value= 0.846

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1

Figura 5a.1 – Andamento del massimo quantitativo di pioggia caduto nelle 24h

RX1day (Max 1-day precipitation amount)

L'indice di precipitazioni massime giornaliere (RX1day) mostra un andamento della polinomiale contraddistinto da un primo periodo, fino alla fine degli anni '70, in lieve decrescita, e dagli inizi degli anni '80 fino ad oggi in lieve crescita costante. Interessante notare che i valori al di sopra dei 70 mm/giorno risultano distribuiti in maniera piuttosto uniforme (fatta eccezione per l'outlier del 1967).





Station: JESI_1960-2015 [43.498383°N, 13.129262°E]

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

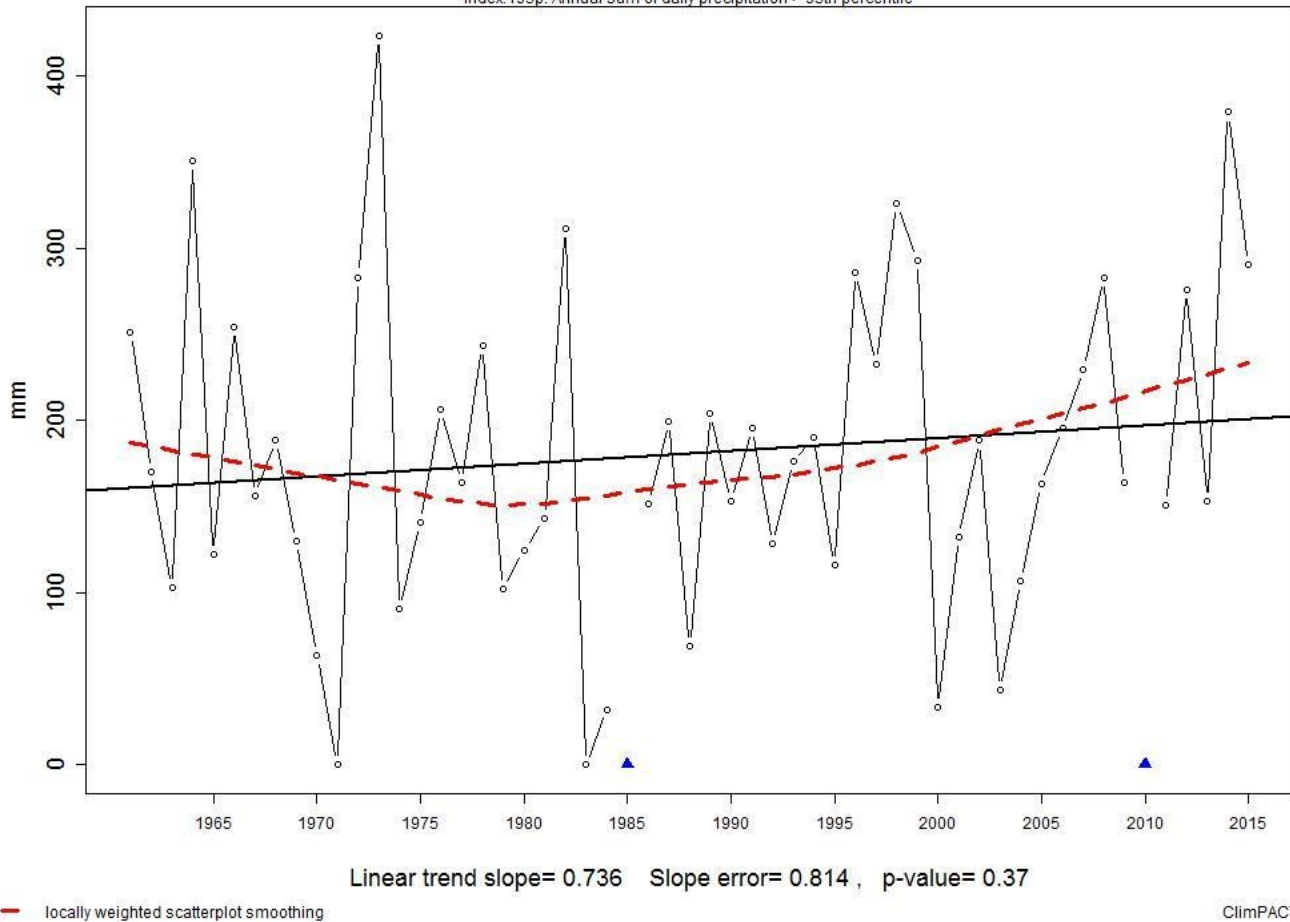


Figura 5a.2 – Andamento della somma annuale di precipitazione generata da precipitazioni superiori al 95° percentile

R95p (Very wet days)

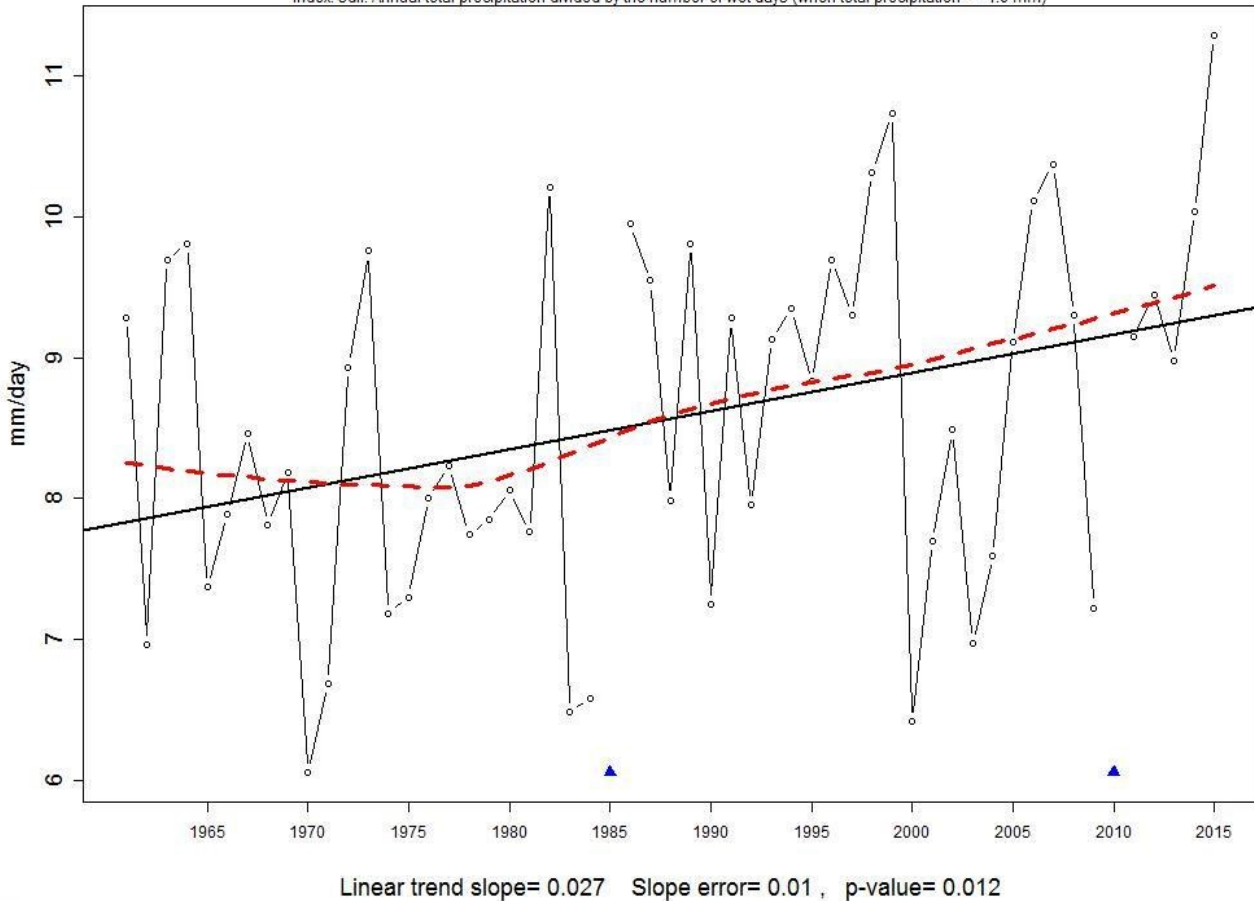
L'indice di precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) quantifica l'abbondanza delle precipitazioni cumulate nei giorni aventi precipitazioni superiori al 95° percentile del periodo di riferimento. Rispetto al trend dell'RX1day, si nota un andamento simile, ma più accentuato. L'andamento della polinomiale mostra un periodo di decremento fino alla fine degli anni '70, a cui segue una fase di crescita moderata fino alla fine degli anni '90 e una crescita più consistente dal 2000 in poi.





Station: JESI_1960-2015 [43.498383°N, 13.129262°E]

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



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5a.3 – Andamento dell'intensità della precipitazione durante giorni piovosi (>1 mm).

SDII (Simple Daily Intensity Index)

L'indice di intensità di pioggia (SDII) quantifica l'intensità meteorica media giornaliera, e può essere considerato quindi come l'intensità media della precipitazione caduta durante i giorni piovosi.

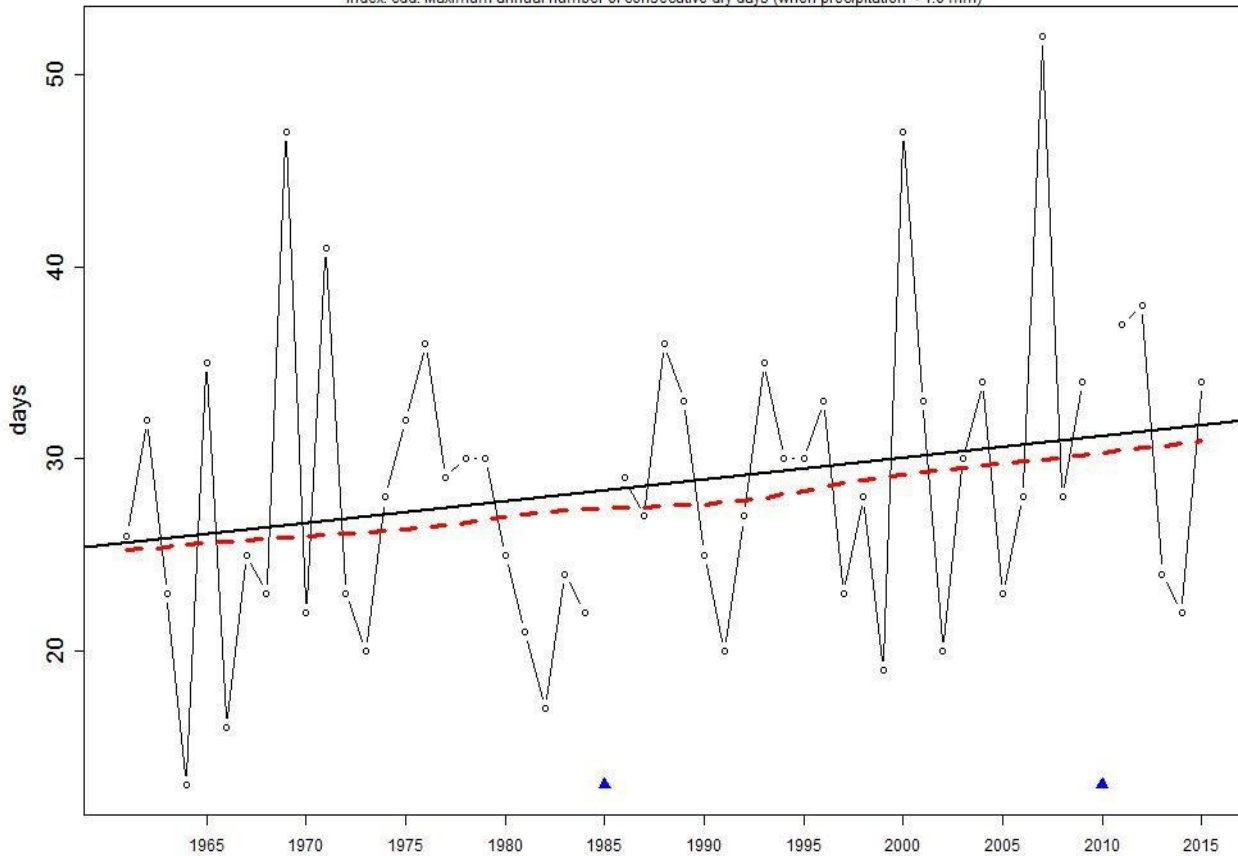
Il trend, l'unico che risulta statisticamente significativo ($p_value = 0.012$), è in lieve aumento di circa $+0.03$ mm/anno, pari a circa 1,5 mm nell'intero periodo. Si passa infatti da un'intensità media di quasi $+8$ mm/giorno nei primi anni '60 ad un'intensità attuale di poco superiore a $+9$ mm/giorno. Pertanto l'aumento percentuale che ne risulta è di circa il 15%. Dalla polinomiale risulta evidente l'andamento in lieve decrescita fino alla fine degli anni '70, come per l'indice R95p, e dalla fine degli anni '70 ad oggi crescente in maniera costante. Interessante infine notare come i tre valori più elevati dell'intera serie siano racchiusi all'interno dell'ultimo ventennio.





Station: JESI_1960-2015 [43.498383°N, 13.129262°E]

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



Linear trend slope= 0.113 Slope error= 0.067 , p-value= 0.096

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5a.4 – Andamento del numero massimo annuale di giorni secchi consecutivi

CDD (Consecutive Dry Days)

L'indice dei giorni consecutivi senza precipitazione quantifica la lunghezza massima annuale dei periodi "secchi" e si rivela un ottimo indicatore del climate change in atto relativamente al bacino mediterraneo. Legato ad un incrementato tempo di ricarica per il raggiungimento del punto di saturazione di un'atmosfera più calda e accoppiato alla temperatura, può rappresentare un indicatore utile anche per studiare l'andamento di periodi potenzialmente siccitosi.

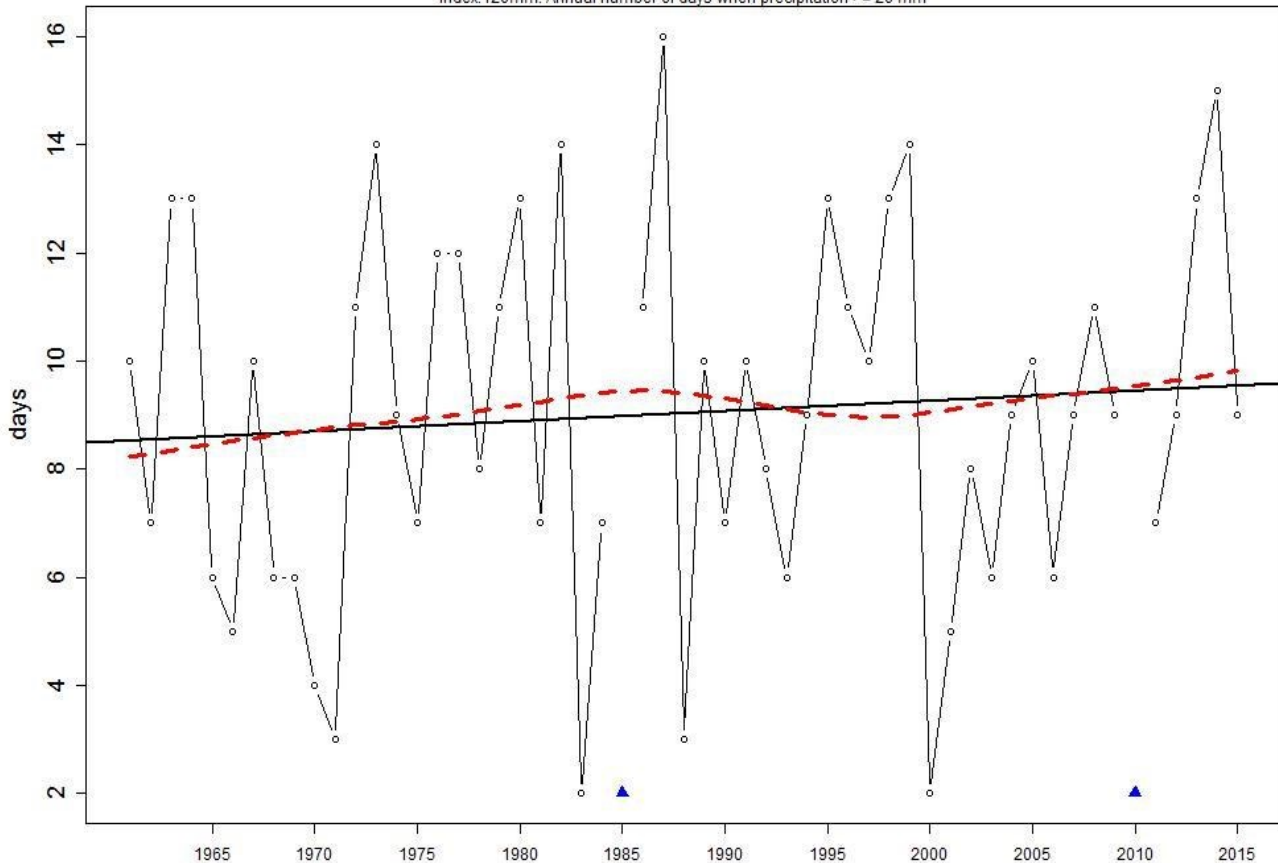
Il trend risulta poco al di sopra della soglia della significatività (p_value 0.096), ed il segnale mostra un lieve ma costante incremento per tutto il periodo di riferimento, quantificabile in poco più di 6 giorni per l'intero periodo. Si passa da fasi siccitose di circa 26 giorni negli anni '60 a fasi di circa 30 giorni negli ultimi anni.





Station: JESI_1960-2015 [43.498383°N, 13.129262°E]

Index: r20mm. Annual number of days when precipitation ≥ 20 mm



Linear trend slope= 0.019 Slope error= 0.03 , p-value= 0.536

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1

Figura 5a.5 – Andamento del numero di giorni/anno con precipitazione superiore ai 20 mm

R20 (Very heavy precipitation days)

L'indice di precipitazioni $>$ di 20 mm (R20) mostra una tendenza in crescita, quantificabile in circa +0.019 giorni/anno, pari a circa 1 giorno per l'intero periodo. Si passa infatti dai circa 8 giorni di inizio periodo di osservazione ai circa 9 del periodo attuale.

Come nel caso del CDD, la polinomiale mostra un andamento di crescita lieve ma costante per tutto il periodo di riferimento, ad eccezione del decennio '85-'95 in cui si registra un lieve decremento.





5.b Indici Climatici Temperature

| Index | Definition | Units | Indices name Climpact2 | Slope | STD_of_Slope | P_Value |
|---|--|-------|------------------------|---------------|--------------|--------------|
| FD0 (Frost Days) | Annual count of days when TN (daily minimum) < 0°C | days | fd | -0,375 | 0,129 | 0,005 |
| SU25 (Summer days) | Annual count of days when TX (daily maximum) > 25°C | days | su | -0,108 | 0,107 | 0,318 |
| TR20 (Tropical nights) | Annual count of days when TN (daily minimum) > 20°C | days | tr | 0,394 | 0,103 | 0 |
| TN10P (Cold nights) | Percentage of days when TN < 10th percentile of the base period | % | tn10p | -0,256 | 0,057 | 0 |
| TN90P (Warm nights) | Percentage of days when TN > 90th percentile of the base period | % | tn90p | 0,22 | 0,052 | 0 |
| TX10P (Cold days) | Percentage of days when TX < 10th percentile of the base period | % | tx10p | -0,002 | 0,032 | 0,962 |
| TX90P (Warm days) | Percentage of days when TX > 90th percentile of the base period | % | tx90p | 0,047 | 0,05 | 0,355 |
| SU30* (Hot days) | Annual count when TX ≥ 30°C | days | TXge30 | -0,052 | 0,101 | 0,61 |
| 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 | -0,068 | 0,132 | 0,611 |

Tabella 5b.1 Indici e relativi coefficienti statistici considerati per le temperature minime e massime.



Gli indici estremi relativi alle temperature minime e massime risultano solo parzialmente statisticamente significativi, con valori $p_value < 0,05$ che riguardano solo e in alcuni casi gli indici relativi alle temperature minime, riscontrando in tal senso una corrispondenza con la significatività dei trend delle anomalie delle temperature; si specifica che i valori di p_value riportati in tabella pari a “0.000” indicano in realtà un valore inferiore ad una certa soglia che viene così approssimato.

In particolare, gli indici riferiti alle T_n sono comprovati statisticamente (FD0 Frost Days, TR20 Tropical nights, TN10P Cold nights, TN90P Warm nights), con valori di p_value prossimi allo zero. Per contro, gli indici riferiti alle T_x non sono comprovati statisticamente (SU25 Summer days, TX10P Cold days, TX90P Warm days, SU30 Hot days, WSDI Warm Spell Duration Index), con valori di $p_value > 0.05$.

L'analisi degli indici estremi riferiti alle T_n evidenzia un periodo di aumento delle temperature minime dalla metà degli anni '70 alla metà degli anni '90, e un successivo periodo di andamento costante fino ad oggi.

Nello specifico, l'indice giorni di gelo (FD0) mostra un'evidente decrescita (-0.375 giorni/anno, pari ad oltre 20 giorni per l'intero periodo analizzato), l'indice di notti fredde (TN10P) mostra una decrescita moderata (-0.256%/anno, pari a circa il 14% per l'intero periodo analizzato). In maniera speculare, l'indice di notti tropicali (TR20) mostra un'evidente crescita (+0.394 giorni/anno, pari a circa 22 giorni per l'intero periodo analizzato) e l'indice di notti calde (TN90P) mostra una crescita moderata (+0.22%/anno, pari a circa il 12% per l'intero periodo analizzato).

L'analisi degli indici estremi riferiti alle T_x evidenzia un periodo di decrescita delle temperature massime fino alla prima metà degli anni '80, seguita da una crescita consistente fino alla fine degli anni '90, e moderata fino ad oggi.

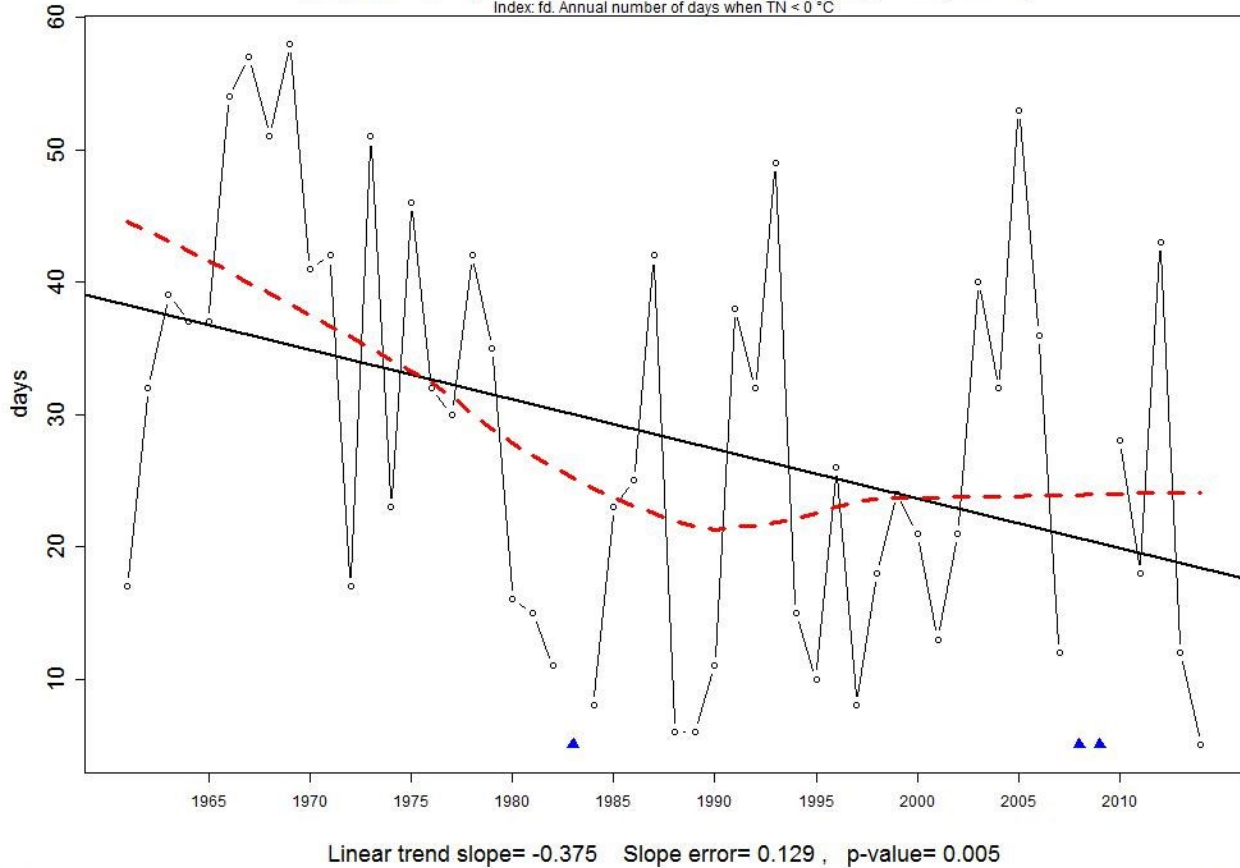
Nello specifico, gli indici che si avvicinano maggiormente ad un grado di significatività sono l'indice dei giorni estivi (SU25), con un p_value di 0.318, che mostra una lieve decrescita (-0.1 giorni/anno) e l'indice di giorni consecutivi caldi (TX90P), con un p_value di 0.355, che mostra una minima crescita (+0.047%/anno).





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



Linear trend slope= -0.375 Slope error= 0.129 , p-value= 0.005

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.1 – Andamento del numero annuo dei giorni di gelo ($T_n < 0^\circ\text{C}$).

FD0 (Frost Days)

Dal segnale risulta un trend statisticamente significativo (p_value prossimo allo zero) che mostra un evidente calo del numero dei giorni di gelo quantificabile in -0.375 giorni/anno, pari a oltre 20 giorni per l'intero periodo analizzato.

L'andamento della polinomiale è piuttosto articolato, con un primo lieve flesso in corrispondenza del consistente riscaldamento verificatosi negli anni '70 ed un altro flesso alla fine degli anni '90.

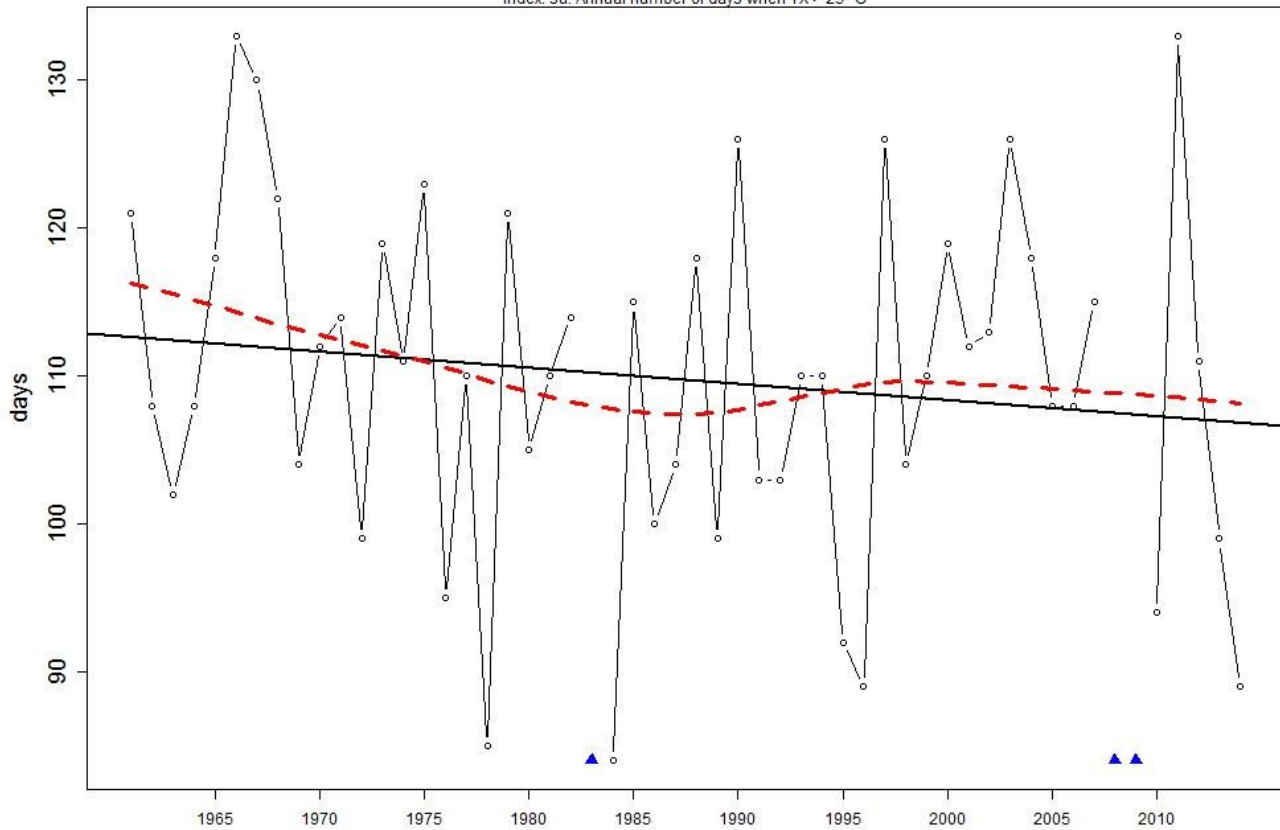
Interessante infine notare come tutti gli outliers minimi sono stati registrati dalla metà degli anni '80 in poi.





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



Linear trend slope= -0.108 Slope error= 0.107 , p-value= 0.318

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.2 – Andamento del numero annuo delle giornate estive ($T_x > 25$ °C).

SU25 (Summer days)

Dal segnale risulta un trend statisticamente non significativo (p_value 0.318) che mostra un evidente calo del numero dei giorni caldi con temperature massime > 25°C quantificabile in -0.108 giorni/anno, pari a circa 6 giorni per l'intero periodo analizzato.

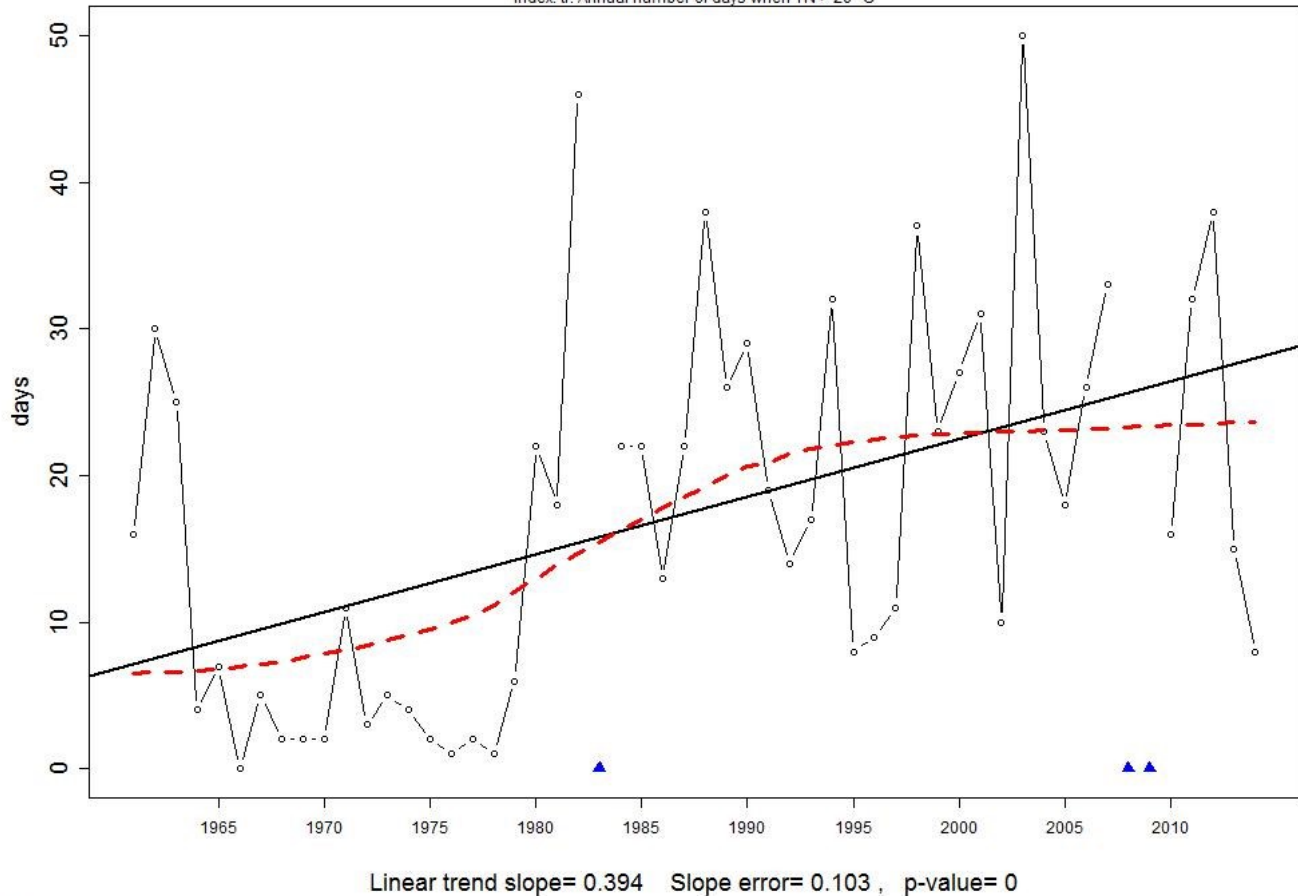
L'andamento della polinomiale evidenzia una decrescita piuttosto costante, fatta eccezione per il decennio '85-'95 in cui si registra una lieve crescita. Interessante infine notare come gli outlier massimi siano stati registrati nel 1966 e nel 2011 (con 133 giorni/anno).





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.3 – Andamento del numero annuo delle notti tropicali ($T_n > 20\text{ °C}$).

TR20 (Tropical nights)

Dal segnale risulta un trend statisticamente significativo (p_value prossimo a zero) che mostra un'evidente crescita del numero delle notti tropicali con temperatura minima $> 20\text{ °C}$ quantificabile in $+0.394$ giorni/anno, pari a circa 22 giorni per l'intero periodo analizzato.

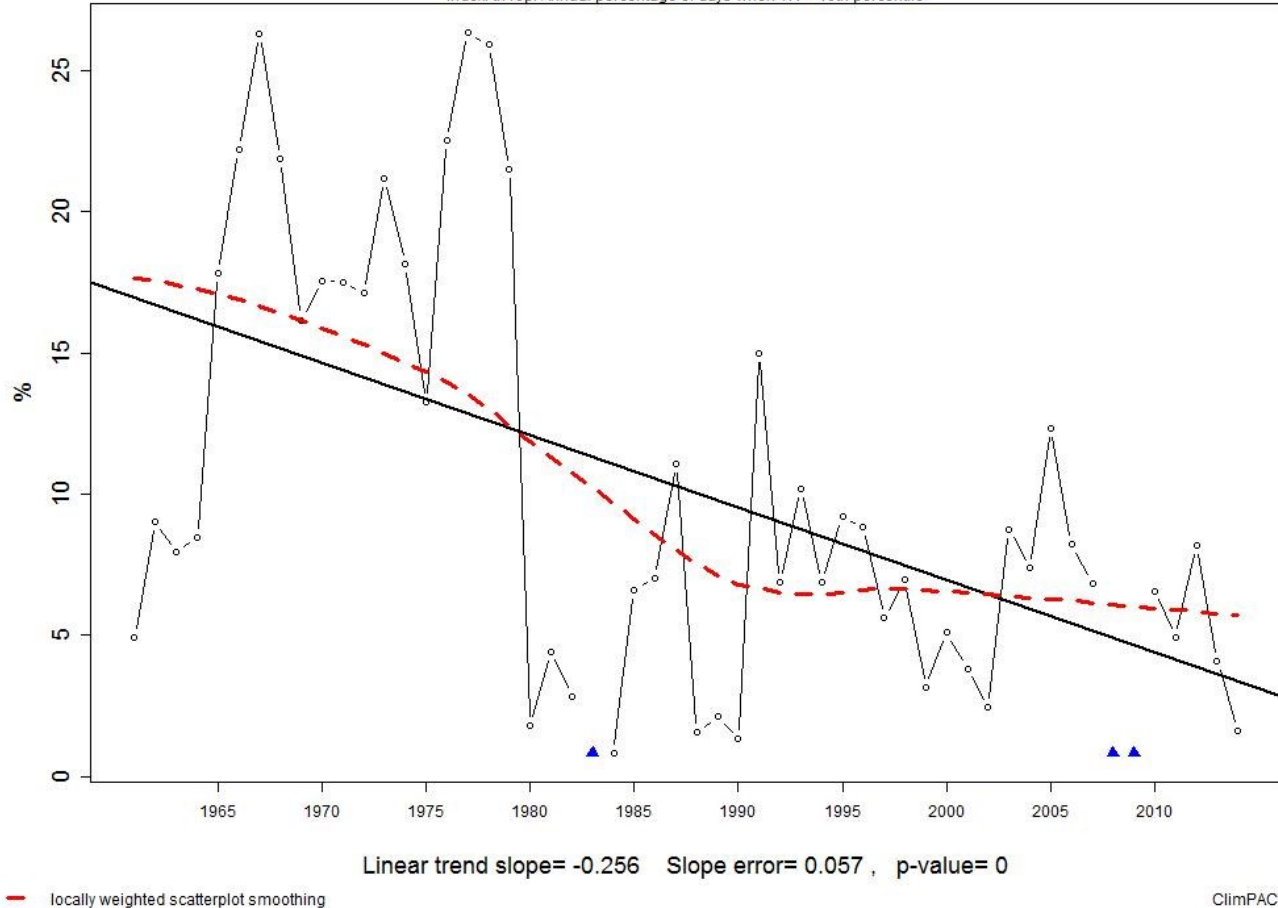
L'andamento della polinomiale evidenzia una crescita variabile, con un primo periodo di crescita moderata fino agli '70, seguito dal ventennio '75-'95 in cui si registra una forte crescita, ed un periodo di crescita minima dalla fine degli anni '90 ad oggi. Interessante infine notare come gli outlier massimi sono registrati dall'inizio degli anni '80 in poi, e che i valori dagli anni '90 ad oggi sono più che doppi rispetto a quelli del ventennio '60-'70.





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



Linear trend slope= -0.256 Slope error= 0.057 , p-value= 0

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimFACT2 v 1.2

Figura 5b.4 – Andamento del numero annuo (%) notti fredde ($T_n < 10^\circ$ percentile CLINO di riferimento)

TN10P (Cold nights)

Dal segnale risulta un trend statisticamente significativo (p_value prossimo a zero) che mostra un evidente calo del numero dei giorni con temperature minime particolarmente basse (inferiori al decimo percentile) quantificabile in -0.256% , pari a circa il 14% per l'intero periodo analizzato (dai valori dei primi anni '60 di poco superiori al 15% si passa ai valori attuali di circa 5%).

L'andamento della polinomiale evidenzia una decrescita variabile, piuttosto consistente fino alla fine degli anni '80 e moderata dagli inizi '90 ad oggi. Interessante infine notare come gli outliers massimi sono registrati fino agli anni '80, mentre gli outliers minimi sono registrati dagli anni '80 ad oggi. Nel complesso, i valori attuali sono circa un terzo rispetto i valori della metà degli anni '60.





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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

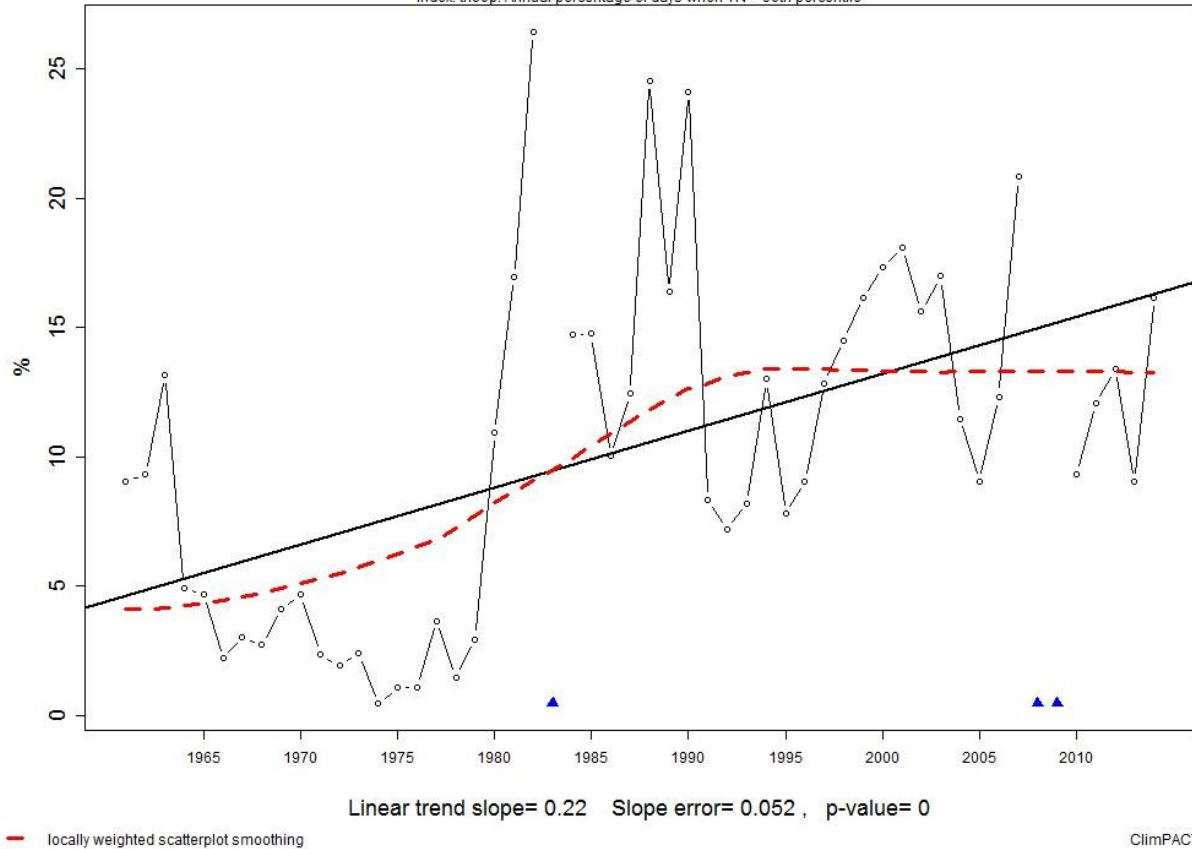


Figura 5b.5 – Andamento del numero annuo (%) notti calde (Tn > 90° percentile CLINO di riferimento).

TN90P (Warm nights)

L'indice speculare delle notti calde, ovvero giornate con temperatura minima superiore al 90° percentile del periodo di riferimento, statisticamente significativo (p_value prossimo a zero), mostra un trend in evidente aumento quantificabile in +0.22%, pari a circa il 12% per l'intero periodo analizzato.

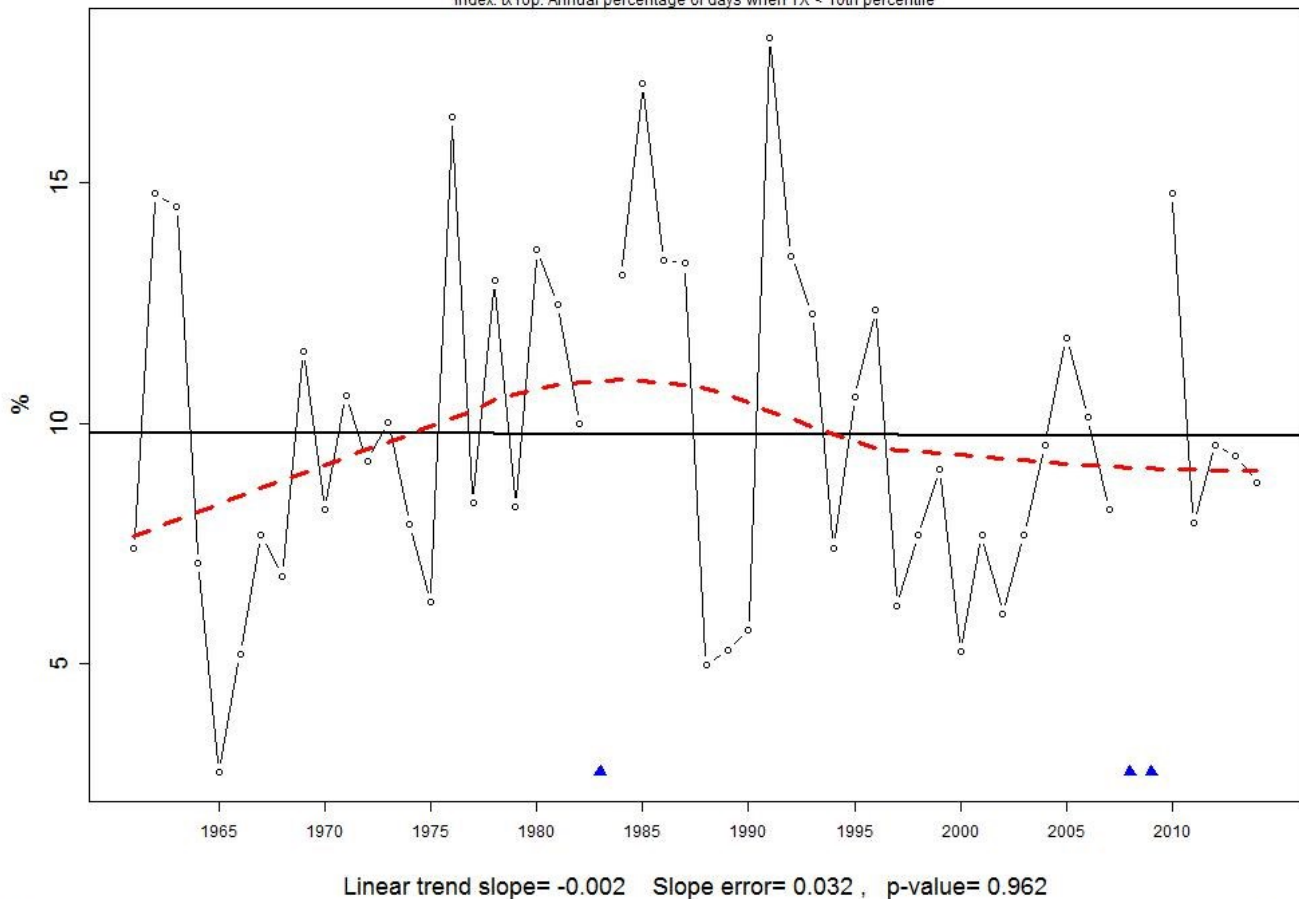
L'andamento della polinomiale è piuttosto variabile: ad una fase di crescita piuttosto consistente della metà degli anni '60 fino all'inizio degli anni '90, segue l'ultimo ventennio in cui i valori si attestano intorno al 13%. Interessante infine notare come gli outliers sono registrati tra gli anni '80 e '90. Nel complesso, i valori attuali sono quasi triplicati rispetto i valori della metà anni '60.





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.6 – Andamento del numero annuo (%) giornate fredde ($T_x < 10^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

TX10P (Cold days)

Dal segnale risulta un trend statisticamente non significativo (p_value 0.962) che mostra una situazione piuttosto stabile del numero dei giorni freddi con temperature massime < del 10° percentile del CLINO di riferimento.

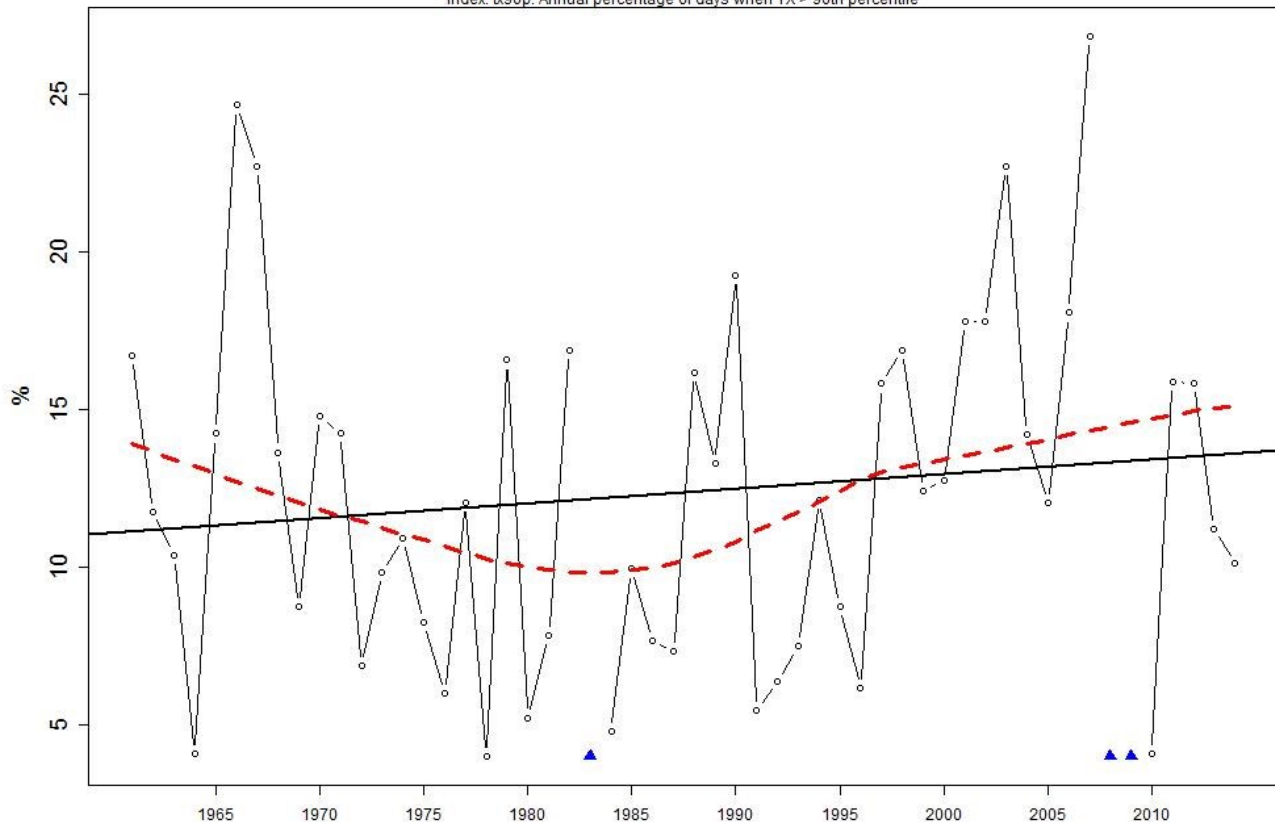
L'andamento della polinomiale evidenzia comunque una crescita fino alla prima metà degli anni '80, seguita da una decrescita fino alla fine degli anni '90. Interessante notare come lo storico evento di freddo del febbraio 2012 spicchi nel contesto dell'ultimo ventennio, ma allo stesso tempo rappresenti un valore non eccezionale se contestualizzato nel primo ventennio della serie storica





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



Linear trend slope= 0.047 Slope error= 0.05 , p-value= 0.355

— locally weighted scatterplot smoothing

ClimFACT2 v 1.2

Figura 5b.7 – Andamento del numero annuo (%) giornate calde ($T_x > 90^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

TX90P (Warm days)

Dal segnale risulta un trend statisticamente non significativo (p_value 0.355) che mostra una crescita del numero dei giorni caldi con temperature massime > del 90° percentile, quantificabile in circa +0.05%, pari a circa il 2.6% per l'intero periodo analizzato.

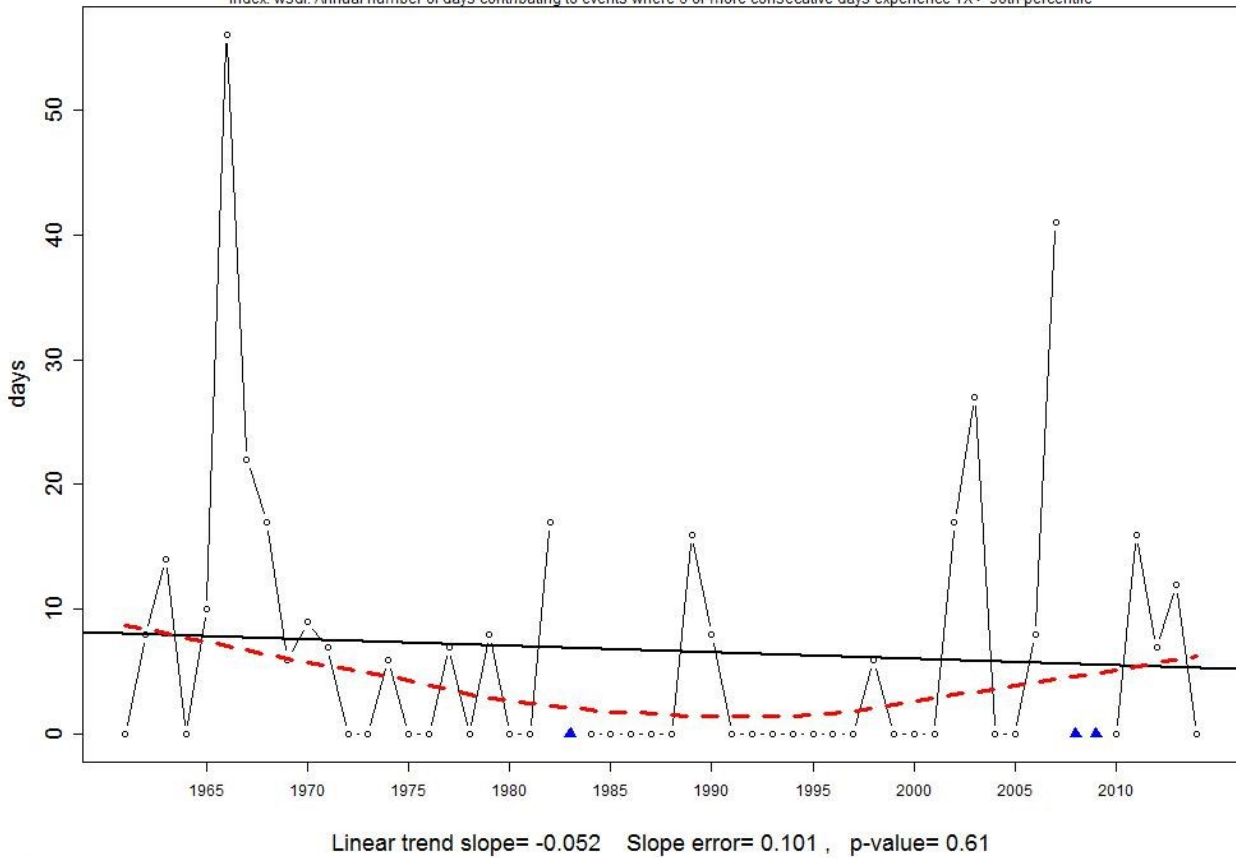
L'andamento della polinomiale evidenzia comunque una decrescita fino alla prima metà degli anni '80, seguita da una crescita consistente fino alla fine degli anni '90, e moderata fino ad oggi. Interessante notare come i valori annuali minimi risultano inferiori al 10% fino alla prima metà degli anni '90, fatta eccezione per l'outlier del 2010 con un minimo del 4,1%.





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

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



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.8 -- Andamento del numero annuo di giorni consecutivi (≥ 6) caldi ($T_x > 90^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

WSDI (Warm Spell Duration Index)

Dal segnale risulta un trend statisticamente non significativo (p_value 0.61), che mostra una lieve decrescita del numero dei periodi con temperature particolarmente elevate ($T_x > 90^\circ$ percentile), quantificabile in circa -0.05 periodi/anno, pari a circa il 2.7 periodi/anno per l'intero intervallo temporale analizzato.

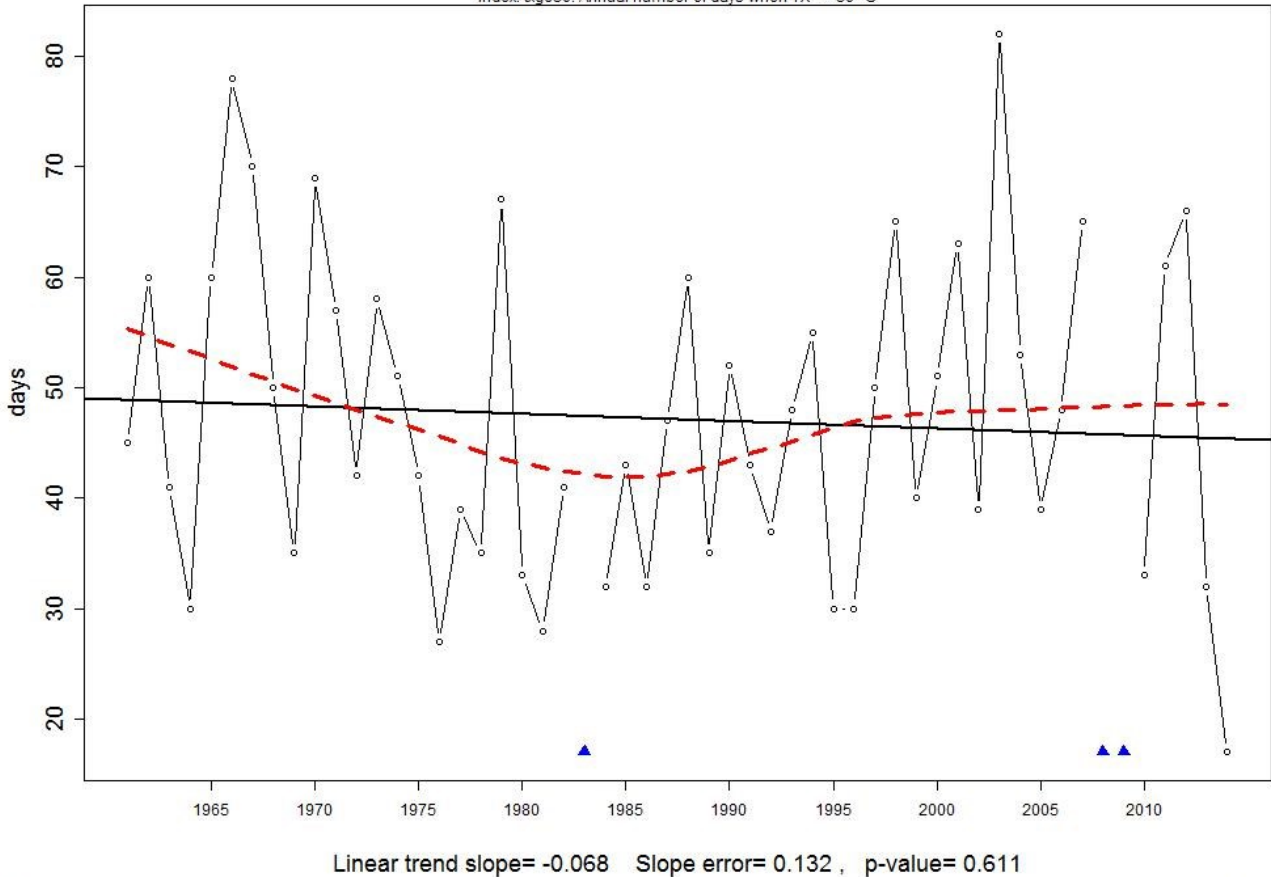
L'andamento della polinomiale evidenzia una decrescita considerevole fino alla metà degli anni '80, seguita da un periodo di andamento pressoché costante nel decennio successivo. Nell'ultimo ventennio l'andamento risulta in crescita, con valori che si avvicinano a quelli dei primi anni '60 (circa 8 giorni/anno). Interessante notare come negli ultimi 15 anni sia aumentata la frequenza dei valori massimi (periodi/anno > 10).





Station: JESI_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 13°E]

Index: txge30. Annual number of days when TX \geq 30 °C



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimPACT2 v 1.2

Figura 5b.9 – Andamento del numero annuo di giorni molto caldi ($T_x > 30$ °C).

SU30* (Hot days)

Dal segnale risulta un trend statisticamente non significativo (p_value 0.611), che mostra una lieve decrescita del numero dei giorni caldi con temperature massime > 30 °C, quantificabile in circa -0.07 giorni/anno, pari a circa il 3.7 giorni/anno per l'intero periodo analizzato.

L'andamento della polinomiale evidenzia una decrescita notevole e costante fino alla prima metà degli anni '80, seguita da una crescita speculare nel decennio successivo. Nell'ultimo ventennio l'andamento risulta pressoché costante (circa 50 giorni/anno), rilevando un outlier massimo di 82 giorni/anno nel 2003 e un outlier minimo di 17 giorni/anno nel 2014.





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.

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

Kendall M., Stuart A., Ord J.K. (1983). *The advanced theory of statistics*. Volume 3, Charles Griffin e Company Limited, London e High Wycombe.

Sneyers R., 1998. Homogenizing time series of climatological observations. The search and adjustment for inhomogeneities. Principle of methodology and example of results. *Proceedings. Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*. Hungarian Meteorological Service. Budapest, Hungary.

Von Storch H. (1995). Chapter 2: Misuses of statistical analysis in climate research. pp. 11-26 In: Von Storch H. e Navarra A. Eds., *Analysis of Climate Variability – Application of Statistical Techniques*, Springer, Berlin.

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.

Desiato F., 2007: "SCIA, un sistema nazionale unico per i dati climatologici". *ARPA Rivista* N. 1, gennaio-febbraio 2007.

ISPRA, 2012: "Elaborazioni delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche". *Rapporto ISPRA* 32/2012.

ISPRA, 2013. "Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia". *Stato dell'Ambiente* 37/2013.

Bonasera F., (1980). *Il Clima di Jesi*. Studi e ricerche di carattere geografico sulla regione marchigiana.

