



LIFE SEC ADAPT PROJECT

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

CURRENT BASELINE ASSESSMENT REPORT



Municipality of URBINO





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	Andrea Carosi – <i>Urban Planner, Climate and Environmental expert</i>





INDICE

Executive summary.....	4
Executive summary in national language.....	6
1. Introduzione.....	9
1.1. Obiettivi del progetto Life Sec Adapt.....	9
1.2. Action A1: definizione del contesto climatico a livello locale.....	9
2. Contesto geografico e climatologico del Comune di Urbino.....	10
3. Controllo qualità dei dati e approccio metodologico per l'analisi	16
3.1. Serie dati dell'Osservatorio Meteorologico "A. Serpieri".....	16
3.2. Selezione serie e controllo qualità dei dati.....	18
3.3. Approccio metodologico.....	22
4. Trend delle anomalie climatiche	25
4.1. Anomalie Precipitazioni	26
4.2. Anomalie Temperature.....	28
5. Indici Climatici Estremi	33
5.1. Indici Climatici Precipitazioni.....	34
5.2. Indici Climatici Temperature.....	41
<i>Bibliografia.....</i>	<i>53</i>





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 regions 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 regard two main aspects:

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

Urbino Municipality selected as data series the data of the Meteorological Observatory A. Serpieri, placed in the historical centre of Urbino and active since 1850. The dataset used consists of daily data about Precipitation (Pr, mm) and Temperature (Tx and Tn, °C), from 1960 to 2015. The data has been pre-analyzed to check both quality - through software R, package CLIMPACT2 - and homogeneity - through software R, package RHtestSTV4 - of data. The climate normal is defined, for all municipalities, from 1971 – 2000.

The main results and findings from the analysis of **climate trend** from 1961 to 2015 and compared to climate normal 1971 – 2000 are:

Precipitation trends can't be approximated to a monotonic trend, due to it's high variability on time. Anyway, precipitations seem to increase homogeneously in all seasons, except for the summer season that is highly decreasing. The annual trend results on the rise (+0.11%/year).

Temperatures trends (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 has increased vary, between 0.048°C/year for the min average and 0.038°C for the max average, with an average of about 0.05°C/year.

Considering the entire period analysed (1960 - 2015), the average temperature has increased of about 2.6°C (with an increase of 2.6°C for Tmin and of 2.1°C for Tmax).

The results show clearly a trend changepoint on 80s: a first two decades of modest decrease is followed by a second two decades of consistent heating (growth attenuated since the end of 90s).

The main results and findings from the analysis of **climate extreme indices** from 1961 to 2015, compared to climate normal 1971 – 2000 are:

Precipitation Extreme Indices trends are low statistically significant, also because of the poor spatial data coherence. However, the results show defined trends, with an intensification of the precipitating events since the late 90s (as shown by the *Daily maximum precipitation index RX1day* and by the *Simple Daily Intensity index SDII*), and an almost constant trend of periods of drought after a growth by the early 60s up to the end of 90s (as shown by the *Consecutive Dry Days index CDD*, the only significant one).

All Temperature Extreme Indices trends are statistically significant and confirm the results of *ISPRA Report 37/2013 Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia*: a clear trend of rising temperature since the 80s.

The values of the extreme warm indices increase (*Hot days index -SU25-*, *Very hot days index -SU30-*, *Warm nights index -TN90P-*, *Warm days index -TX90P-*, *Warm spell duration index -WSDI-*, *Tropical nights index -TR20-*), with a clear predominance of positive anomalies since the 90s.

Instead, the values of the extreme cold indices decrease (*Frost days index -FD0-*, *Cold nights index -TN10P-*, *Cold days index -TX10P-*), with a clear predominance of negative anomalies by the 90s to today.





Executive summary in national language

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.

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 tramite software dedicati in grado di verificare le variazioni temporali delle variabili climatiche in termini di differenze assolute, per le temperature, o di differenze percentuali nell'unità di tempo, nel caso delle precipitazioni.

I procedimenti adottati fanno pertanto riferimento alla prima valutazione dei dati climatici e del loro trend (nella fattispecie a scala locale) finalizzata all'analisi dei cambiamenti climatici di una specifica area geografica.

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

- **trend climatici** (in riferimento a precipitazioni e temperatura media, max e min);
- **indici climatici estremi**, selezionati dal set di indici definiti dall'*Expert Team on Sector-specific Climate Indices* (ET-SCI) della Commissione WMO per la Climatologia (CCL).

Per il Comune di Urbino è stata utilizzata la serie dati dell'*Osservatorio Meteorologico A. Serpieri* di Urbino, attivo dal 1850. Il set di dati utilizzati per questo rapporto è costituito da dati giornalieri di precipitazioni (Pr, 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:

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 maniera piuttosto omogenea in tutte le stagioni, ad eccezione della stagione estiva che risulta in forte decrescita. Il trend annuale complessivo risulta in aumento (+0.11%/anno).

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 0.048°C/anno per i valori termici minimi e 0.038°C/anno per quelli massimi, con una media pari a circa 0.05°C/anno.

Se si considera l'intero periodo oggetto dello studio, l'aumento delle temperature medie è di 2.6°C (con un aumento di 2.6°C per le minime e di 2.1°C per le massime).

I risultati mostrano con evidenza come nei primi anni '80 si sia verificata un'inversione di tendenza delle temperature: ad un primo ventennio di modesto abbassamento, segue un secondo ventennio di riscaldamento marcato. Dalla fine degli anni '90 la crescita risulta leggermente attenuata.

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

Gli indici estremi di precipitazione mostrano trend statisticamente poco significativi, anche a causa della scarsa coerenza spaziale del dato. Tuttavia, i risultati indicano tendenze piuttosto definite, mostrando un aumento delle precipitazioni dalla fine degli anni '90 (come risulta dall'*indice di precipitazioni massime giornaliere RX1day* e dall'*indice di intensità di pioggia SDII*), ed un andamento pressoché costante dei periodi siccitosi (*indice dei periodi di giorni consecutivi di siccità CDD*, unico statisticamente significativo), la cui crescita si interrompe proprio a fine anni '90.





Gli indici estremi di temperatura mostrano invece tutti trend statisticamente significativi ed in linea con quanto osservato nel *Rapporto ISPRA 37/2013 Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia*, evidenziando una tendenza al riscaldamento a partire dai primi anni '80.

Si riscontra un aumento del valore degli indici che descrivono gli estremi di caldo (*indice dei giorni estivi -SU25-*, *indice dei giorni molto caldi -SU30-*, *indice delle notti calde -TN90P-*, *indice dei giorni consecutivi caldi -TX90P-*, *indice delle ondate di calore -WSDI-*, *indice delle notti tropicali -TR20-*), ed una netta prevalenza di anomalie positive a partire dagli anni '90.

Viceversa, si riscontra una diminuzione del valore degli indici che descrivono gli estremi di freddo (*indice dei giorni di gelo -FD0-*, *indice delle notti fredde -TN10P-*, *indice dei giorni freddi -TX10P-*), ed una netta prevalenza di anomalie negative dall'inizio degli anni '90 ad oggi.





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 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 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 Urbino

Il Comune di Urbino, con una popolazione di quasi 15.000 abitanti ed un'estensione territoriale di circa 225 Km², insieme alla città di Pesaro è capoluogo della Provincia di Pesaro e Urbino. Si estende lungo le ultime propaggini dell'Appennino Settentrionale e Tosco-Romagnolo, al confine tra le regioni Marche ed Emilia Romagna, sui rilievi che fungono da spartiacque tra il bacino del fiume Foglia a settentrione ed il bacino del fiume Metauro a mezzogiorno. Tale area geografica, identificata anche come la **zona meridionale del Montefeltro**, è posta in un **ambiente montano-appenninico**, in una zona tipica di transizione tra la Romagna, l'Umbria e le Marche (Figura 2.1).

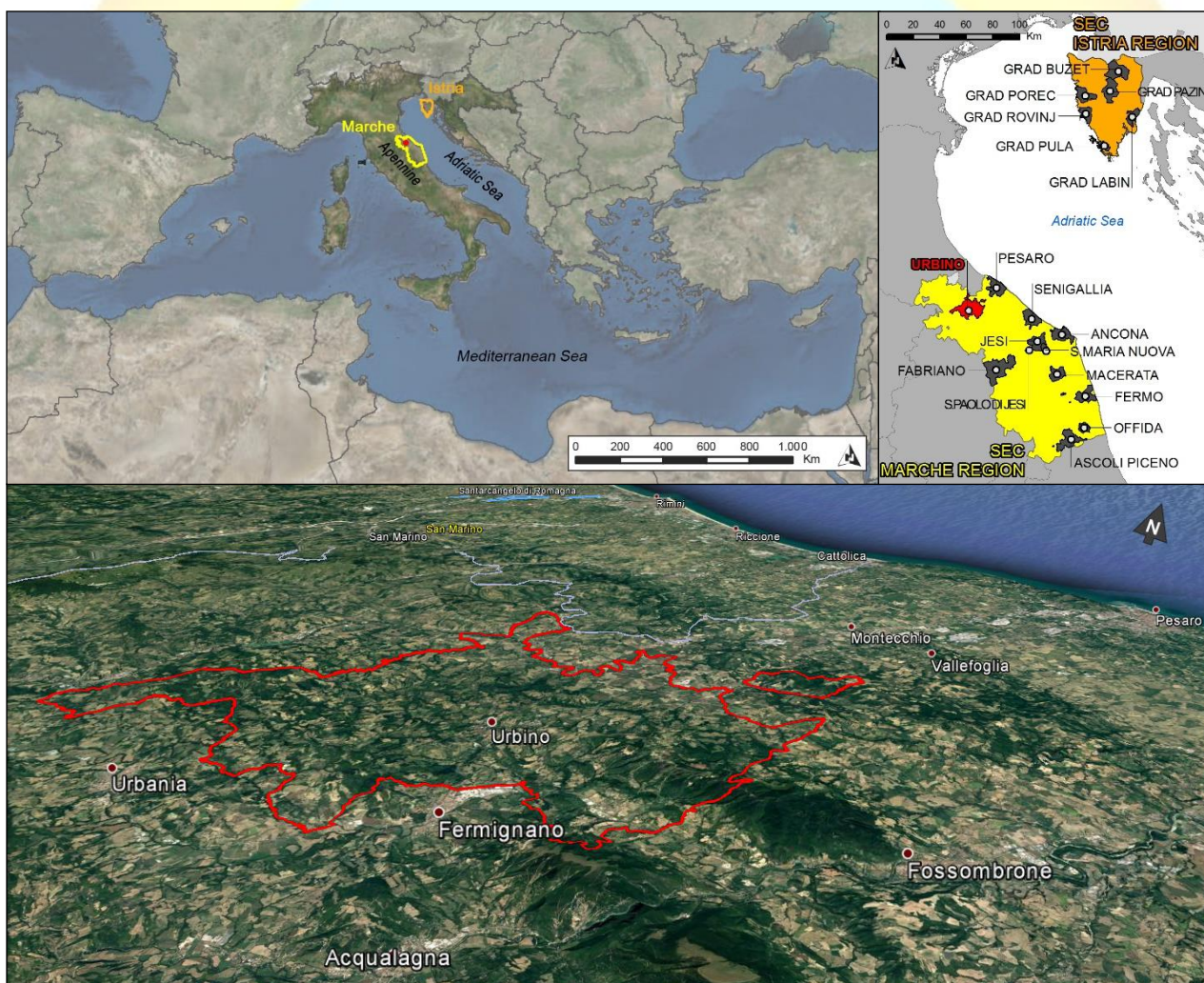


Figura 2.1 - Inquadramento territoriale a livello di bacino Mediterraneo (in alto a sinistra) e regionale (in alto a destra). In basso, una vista panoramica dell'area al confine tra le regioni Marche ed Emilia Romagna (in rosso i limiti amministrativi del Comune di Urbino).



Il paesaggio che caratterizza il territorio è il risultato di modificazioni attuate dall'uomo fin dalla preistoria (le tracce più antiche relative al popolamento della zona del Montefeltro risalgono all'età del bronzo), fino all'età tardo-romana in cui il paesaggio naturale raggiunse un'importante modificazione in conseguenza dello sfruttamento sistematico delle terre disponibili per colture agricole per il pascolo, assumendo pressoché l'aspetto attuale.

Città rinascimentale per eccellenza, le origini del centro urbano risalgono ad un insediamento romano posto sulla sommità del colle sul quale ora sorge il famoso Palazzo Ducale (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Vista aerea del centro storico di Urbino (a sinistra) e di Palazzo Ducale (a destra).

A metà del XV secolo **Federico da Montefeltro**, duca di Urbino dal 1474 al 1482, rinnovò radicalmente la città, portando Urbino a raggiungere un altissimo livello culturale, divenendo meta di studiosi ed artisti provenienti da tutta Italia ed oltre, e **modello di riferimento dello sviluppo culturale in Europa**. Alcuni dei maggiori umanisti del tempo quali *Leon Battista Alberti*, *Marsilio Ficino*, e *Giovanni Bessarione*; matematici come *Paul van Middelburg* e eminenti artisti come *Luciano Laurana*, *Francesco di Giorgio Martini*, *Paolo Uccello*, *Piero della Francesca* e *Ambrogio Barocci* si riunirono alla corte di Federico da Montefeltro per sviluppare eccezionali progetti culturali ed urbanistici. E' in questo clima culturale che si formarono anche *Raffaello*, *Donato Bramante* e il matematico *Luca Pacioli*.

A conferma dello straordinario valore del centro storico, dal 1998 esso è stato dichiarato **patrimonio mondiale Unesco dell'umanità** (il sito Unesco comprende tutta l'area delimitata dalle



mura rinascimentali, ancora conservate nella loro integrità, con alcuni edifici di straordinaria qualità, come il Palazzo Ducale, la Cattedrale, il Monastero di Santa Chiara, un complesso sistema di “Oratori”, ecc.)¹.

Per quanto riguarda il **contesto climatico di riferimento**, a livello regionale le condizioni climatiche sono influenzate dall'esposizione ad oriente 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.

Secondo la *classificazione climatica di Köppen* (Figura 2.3) il clima di Urbino è di tipo **Cfa**, ovvero **clima temperato umido in tutte le stagioni, con estate molto calda**, che si contraddistingue per:

- **C - Climi temperati delle medie latitudini:** il mese più freddo ha una temperatura media inferiore a 18°C ma superiore a -3°C; almeno un mese ha una temperatura media superiore a 10°C. Pertanto i climi C hanno sia una stagione estiva sia una invernale.
- **f - Umido:** precipitazioni abbondanti in tutti i mesi. Manca una stagione asciutta.
- **a - con estate molto calda;** il mese più caldo è superiore a 22°C.

¹ <http://whc.unesco.org/en/list/828>. I criteri che hanno motivato l'inserimento del centro storico di Urbino tra i siti Unesco sono: criterio II - durante la sua breve preminenza culturale, Urbino ha attratto alcuni dei più insigni umanisti e artisti del Rinascimento, che crearono un eccezionale complesso urbano di notevole omogeneità, la cui influenza in Europa arrivò lontano; criterio IV - Urbino rappresenta un vertice dell'arte e dell'architettura rinascimentali, è armoniosamente adattata al paesaggio e si fonde in maniera eccezionale con le preesistenze medievali.





Secondo la *classificazione climatica di Pinna* invece (Figura 2.3), nella quale i climi temperati ricadono nel tipo C di Köppen ma seguono una classificazione diversa, il clima di Urbino è di tipo **temperato subcontinentale**, proprio delle zone collinari medio-alte e appenniniche delle Marche Occidentali e Settentrionali.

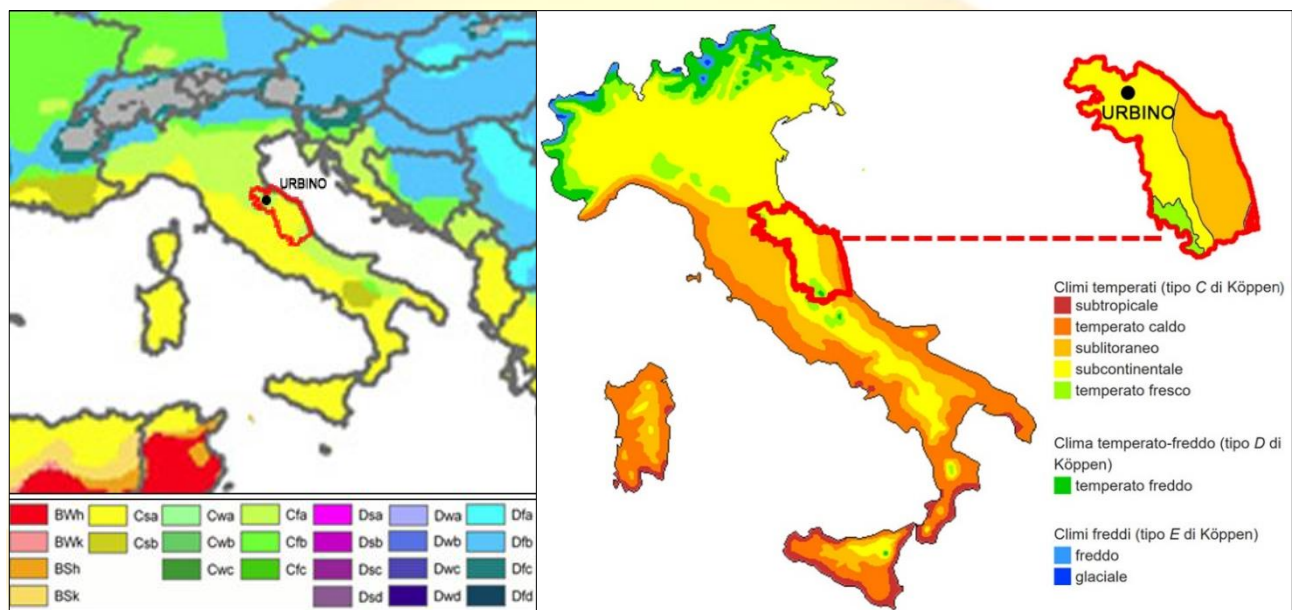


Figura 2.3 - Inquadramento del clima nella mappa della *classificazione Köppen* (a sinistra) e nella *carta dei climi d'Italia* del 1969 di M. Pinna (a destra).

In sintesi, **il territorio di Urbino risente delle influenze del nord** (quest'ultime deviate o corrette dalle dorsali della "Ruga Montefeltrina") **ed ancor più decisamente è aperto alle influenze del mare Adriatico ed alle correnti provenienti dall'entroterra Balcanico, che ne determinano in modo rilevante l'andamento termico, quello igrometrico e pluviometrico.**





Di seguito si propone la **normale climatica relativa al CLINO 1971 – 2000** (assunto come base di riferimento per le successive elaborazioni dei trend e degli indici) elaborata sui dati dell'Osservatorio A. Serpieri di Urbino (si veda successivo Capitolo 3).

Risulta una **temperatura media annua di 12.9°C** (media invernale 4.8°C, primaverile 11.6°C, estiva 21.7°C, autunnale 13.4°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 850 mm** e si verificano per il 31% in autunno, mentre le restanti sono ripartite omogeneamente nel corso delle stagioni: 23% sia in primavera, che inverno ed estate. Nei valori sono comprese le precipitazioni nevose.

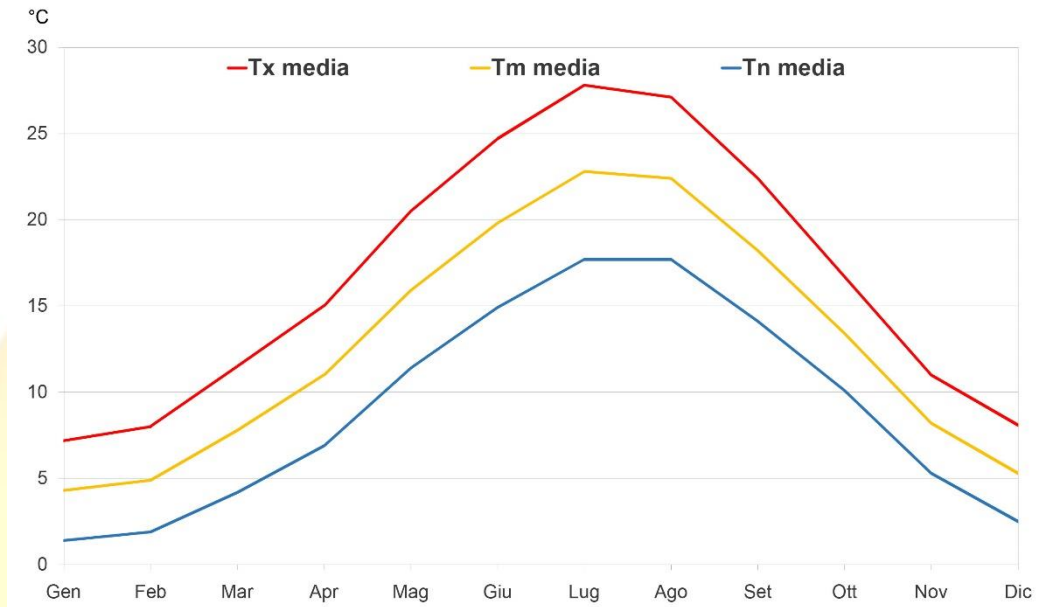
Valori normali periodo 1971 – 2000 Osservatorio A. Serpieri di Urbino				
Mese	Media PR (mm)	Media Tx (°C)	Media Tn (°C)	Media Tm (°C)
Gennaio	49.5	7.2	1.4	4.3
Febbraio	66.4	8.0	1.9	4.9
Marzo	67.0	11.5	4.2	7.8
Aprile	73.3	15.0	6.9	11.0
Maggio	61.2	20.5	11.4	15.9
Giugno	69.4	24.7	14.9	19.8
Luglio	46.0	27.8	17.7	22.8
Agosto	74.6	27.1	17.7	22.4
Settembre	79.8	22.4	14.1	18.2
Ottobre	81.9	16.7	10.1	13.4
Novembre	104.7	11.0	5.3	8.2
Dicembre	76.5	8.1	2.5	5.3

Stagione	Media PR (mm)	Media Tx (°C)	Media Tn (°C)	Media Tm (°C)
Inverno	193.2	7.7	1.9	4.8
Primavera	196.9	15.7	7.5	11.6
Estate	189.3	26.5	16.8	21.7
Autunno	270.3	16.8	10.0	13.4
Anno	850.2	16.7	9.0	12.9





Valori normali Temperature periodo 1971 – 2000 Osservatorio A. Serpieri di Urbino



Valori normali Precipitazioni periodo 1971 – 2000 Osservatorio A. Serpieri di Urbino





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

3.1 Serie dati dell'Osservatorio Meteorologico "A. Serpieri"

L'Università degli Studi di Urbino gestisce l'[Osservatorio A. Serpieri](#), il più antico delle Marche, che venne **istituito il primo maggio del 1850** con lo scopo di effettuare osservazioni meteorologiche e geofisiche. Il fondatore fu **Padre Scolpio Alessandro Serpieri** (1823 - 1885) nobile figura di educatore, di docente e di studioso, maestro di Giovanni Pascoli (dal 1862 al 1871) e per quasi un quarantennio docente di Fisica all'Università di Urbino (dal 1848 al 1884).

La sede dell'Osservatorio era originariamente posta sul tetto del Collegio Raffaello, all'epoca Collegio dei Nobili (Figura 3.1).

Dal primo gennaio 1943 venne trasferita ad opera del prof. Mori, docente di Geografia all'Università di Urbino, in una più spaziosa torretta situata sul tetto del Palazzo Bonaventura, sede dell'Università, uno dei posti più elevati e panoramici della città, con un aumento di quota di circa 25 metri rispetto alla sede originaria (Figura 3.2).

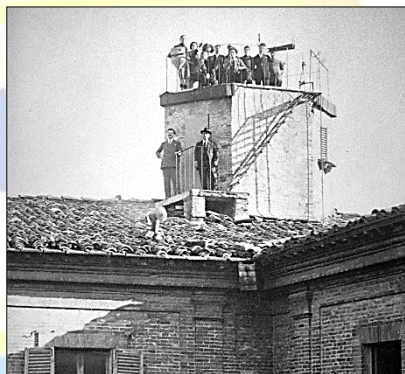


Figura 3.1 – Torretta sede del primo Osservatorio (foto di inizio '900).



Figura 3.2 – Vista dall'Osservatorio A. Serpieri in direzione Est (a sinistra) ed Ovest (a destra)



La stazione meteorologica si trova a **476 metri s.l.m.** e alle coordinate geografiche 43°43'23"N 12°38'12"E.

La strumentazione di rilievo dei parametri di tipo analogico è stata integrata dal 2000 con una stazione automatica di rilevazione, che si contraddistingue per una moderna centralina automatica installata nel marzo 2000 che è andata ad affiancare la tradizionale stazione meccanica con gli strumenti ancora collocati nell'originaria finestra meteorica.



Pluviometro



Sensore T e umidità

La **strumentazione attualmente in uso** comprende:

- anemografo a rotazione (intensità del vento)
- anemometro a rotazione (direzione del vento)
- pluviometro (precipitazioni liquide e solide)
- sensore di temperatura ed umidità
- piranometro (radiazione solare)
- webcam

I registri originali delle osservazioni dal 1850 sono conservati presso l'Osservatorio, permettendo il controllo di qualità delle serie prodotte. Le osservazioni meteorologiche vengono registrate con frequenza giornaliera dal primo maggio 1850, senza alcun interruzione.

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

L'**attività di lettura manuale dei dati, effettuata 3 volte al giorno** (ore 8:00 – 14:00 – 19:00), continua ancora oggi, garantendo una massima affidabilità del dato anche grazie al controllo incrociato tra lettura manuale e lettura analogica.

I dati sono stati tutti meticolosamente digitalizzati dal personale dell'Osservatorio A. Serpieri: Tmin, Tmax, Tmedia, Precipitazioni cumulate, dal 1871 al 2015, con frequenza giornaliera.



3.2 Selezione serie e controllo qualità dei dati

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 *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 01/12/1960² al 31/12/2015 dell'Osservatorio A. Serpieri di Urbino** (si veda precedente paragrafo), opportunamente pretrattati con le metodologie di controllo di qualità e controllo omogeneità previste dalle linee guida. Importante sottolineare sia l'elevata qualità scientifica dei dati, ma anche la completezza della serie, trattandosi 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 interquartile (Figura 3.2.1 - *output grafico "Box Series"*)

² La scelta di iniziare dal 01 dicembre 1960 è dovuta al fatto che per il calcolo dei trend stagionali (si veda Capitolo 4), l'inverno del 1961 comprende il mese di dicembre del 1960.



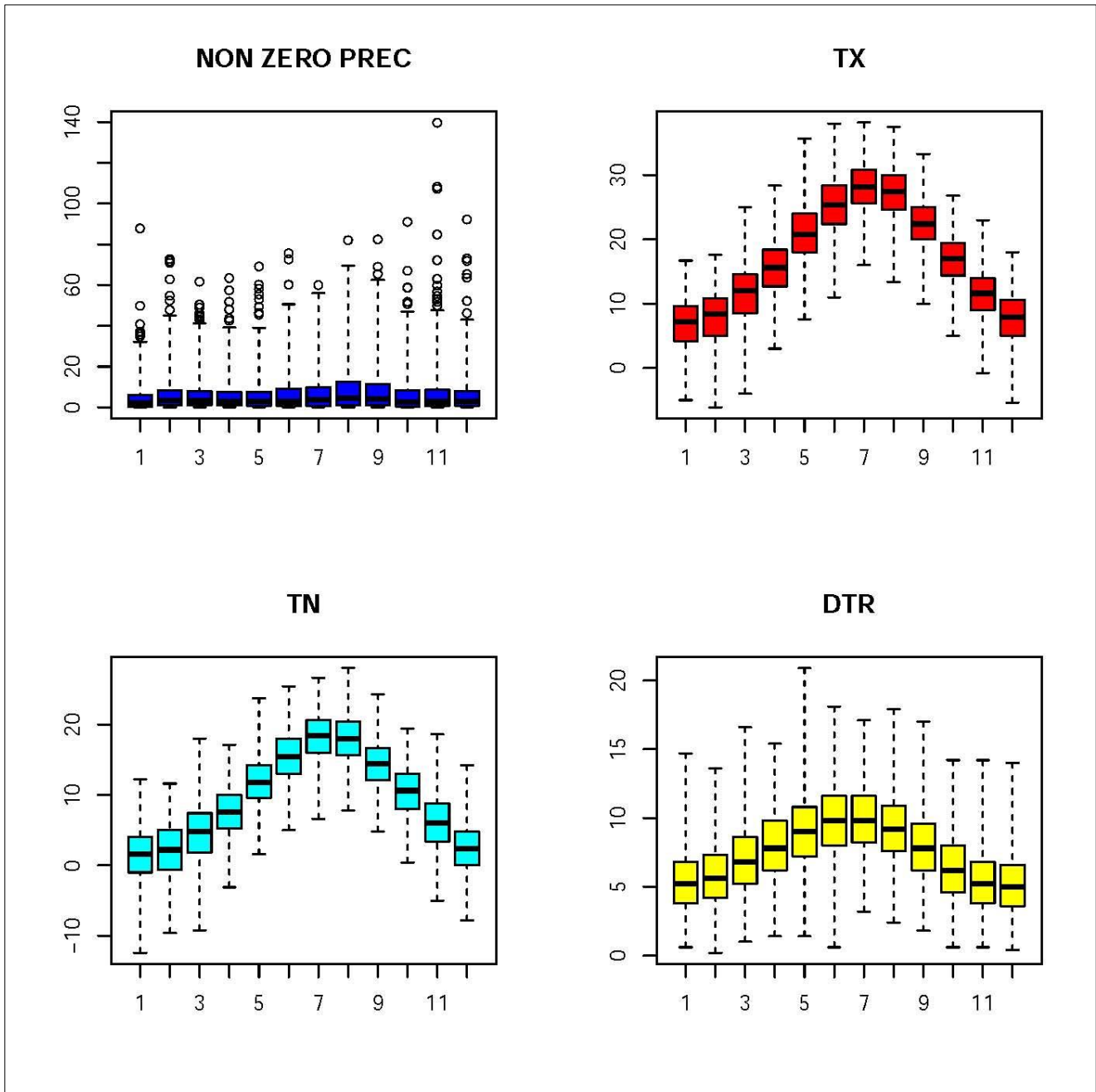


Figura 3.2.1 – Plot del Quality Control “Boxes”, elaborato tramite CLIMPACT2 (dati Osservatorio A. Serpieri)

Il processo di *Quality Control* ha evidenziato qualche dato anomalo, o *outliers* (Figura 3.2.2), che sono stati successivamente ricontrollati nel registro originale e confrontati con i dati della stazione meteorologica di Urbino gestita dal *Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche*,





non riscontrando valori errati, a conferma dell'elevata qualità dei dati rilevati dall'Osservatorio A. Serpieri.

Description:	Outliers shown in *boxseries.pdf				
Station:	Dati_Urbino_Oss-Serpieri				
Latitude:	43				
Longitude:	12				
ClimPACT2_version:	1.2				
Date_of_calculation:	2016-10-06				
Date	Prec	TX	TN	DTR	
Prec up					
1982-12-1	92,4	10,4	6,6	3,8	
1992-12-9	52,4	7,8	4,6	3,2	
1995-12-13	46,4	4	1	3	
1997-12-1	65,6	7,8	6,8	1	
1998-12-1	73,2	5,8	3,6	2,2	
2002-12-4	72	8,2	4,2	4	
2002-12-5	63,8	8,6	6,4	2,2	
TX up					
TX low					
TN up					
TN low					
DTR up					
DTR low					

Figura 3.2.2 – Output del controllo “Outliers”, elaborato tramite CLIMPACT2 (dati Osservatorio A. Serpieri)

I dati risultano dunque validi, e si accettano per procedere al successivo **controllo di omogeneità**, eseguito con il pacchetto *RHtestV4* proposto dall'*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, *non omogenea* se incidono fattori esterni, come spesso accade, 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 A. Serpieri 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 Urbino 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.**

Per la serie mensile di **precipitazione non si rilevano valori dubbi.**

In sintesi, **il controllo dei dati conferma l'affidabilità dei dati che non necessitano di essere ulteriormente processati.**





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 estremi**.

La **prima fase di analisi** 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 Thiel-Sen (TS)** (Yue et al. 2002) (si veda 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 *Thiel-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-whitening* 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 (<https://www.r-project.org/>).

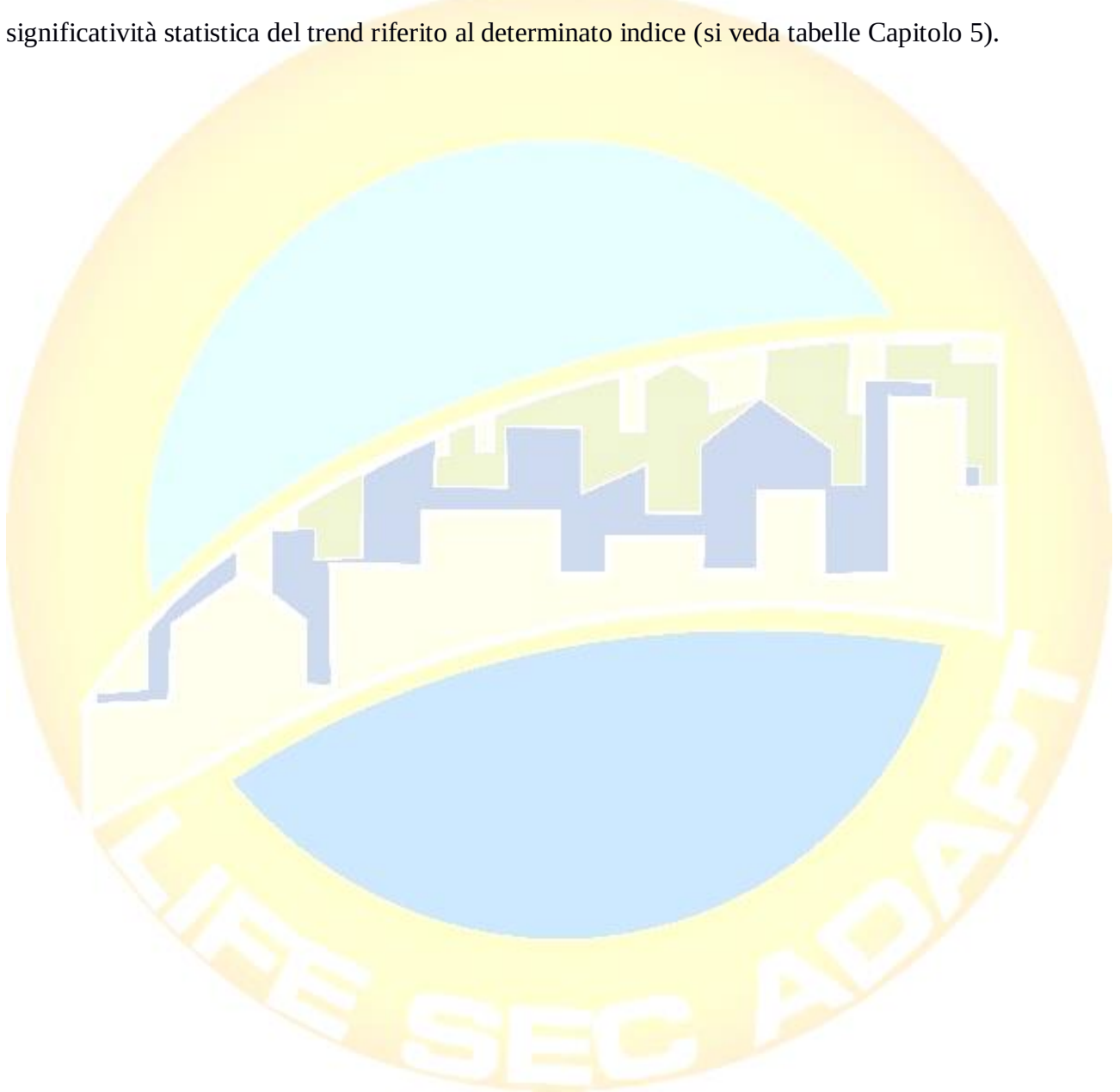
La **seconda fase di analisi** consiste nel calcolo e nell'analisi di un pacchetto di indici climatici estremi definiti dal team di esperti dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale ([ET-SCI](#)), con il fine di estrapolare informazioni relative all'evoluzione di particolari aspetti del sistema climatico 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 estremi riferiti alle temperature e 5 indici estremi riferiti alle precipitazioni**. Gli **indici estremi 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). Gli **indici estremi riferiti alle precipitazioni** 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.





Per il **calcolo di tali indici** (si veda Capitolo 5) è stato utilizzato il pacchetto “*climact2*” del software *R* (WMO, 2014). L’algoritmo in uso svolge un controllo preliminare della qualità del dato giornaliero in input, e 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 (si veda tabelle Capitolo 5).





4. Trend delle anomalie climatiche

In questo capitolo verranno evidenziati i risultati delle analisi dei 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 (1961-2015).

I **trend delle precipitazioni** totali (somma di quelle liquide e di quelle solide sciolte o equivalenti liquide) sono stati calcolati sullo scarto percentuale tra la precipitazione (annua o stagionale) e quella del trentennio di riferimento selezionato (CLINO 1971-2000); i **trend delle temperature** sono stati invece calcolati sull'anomalia termica annuale e stagionale, sempre considerando il medesimo trentennio.

Come evidenziato nel Capitolo 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* (livello di confidenza del test) 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* (Yue et al. 2002).





4.1 Anomalie Precipitazioni

I risultati dell'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni sono riportati nella tabella 4.1.1 di seguito proposta:

	Mann-Kendall – Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Thiel-Sen slope
Annual_Pr	0.040	0.668	0.111
Autumn_Pr	0.070	0.455	0.277
Spring_Pr	0.086	0.356	0.318
Summer_Pr	-0.236	0.011	-0.904
Winter_Pr	0.093	0.320	0.361

Tabella 4.1.1 - Coefficienti statistici considerati per l'analisi dei trend delle anomalie delle precipitazioni totali annuali e stagionali

Dalla disamina della tabella 4.1.1 si evince che **le precipitazioni annuali tendono ad un lieve aumento in tutte le stagioni dell'anno registrando un incremento medio di +0.11%/anno**, ad eccezione della stagione estiva che risulta in forte decrescita.

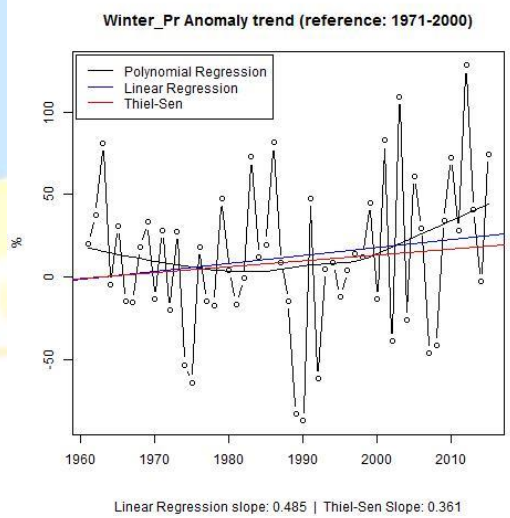
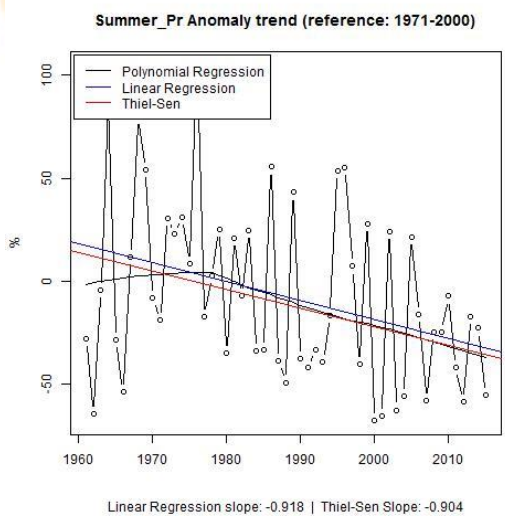
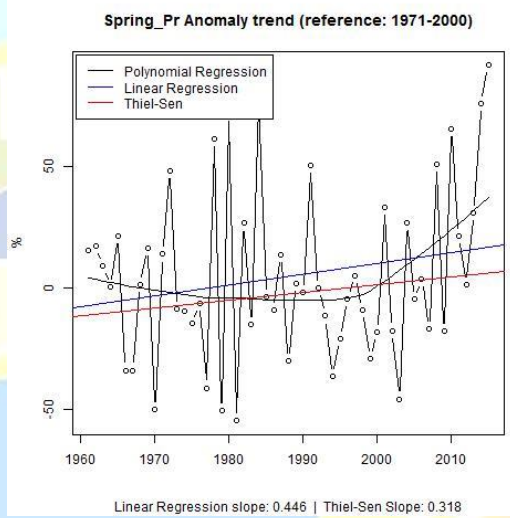
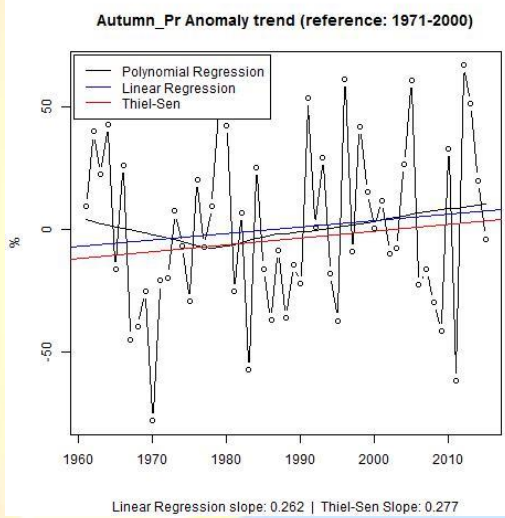
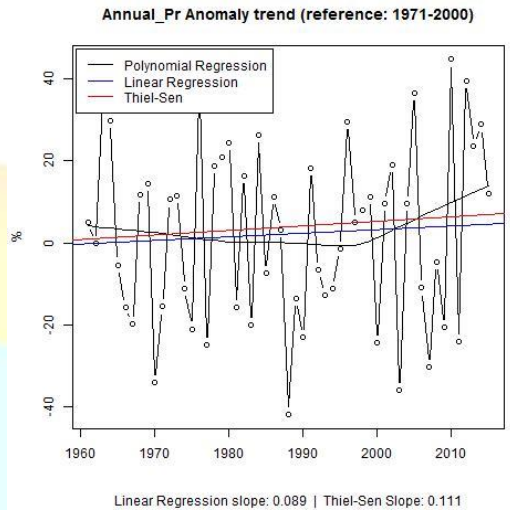
Tuttavia i trend non risultano statisticamente significativi ($p_value > 0.05$), ad eccezione della stagione estiva ($p_value 0.01$), anche a causa della scarsa coerenza spaziale del dato.

Per quanto riguarda il trend stagionale, l'analisi evidenzia che a fronte di un decremento notevole durante la stagione estiva (-0.90%/anno), si assiste ad un generale aumento dell'apporto meteorico distribuito nella stagione invernale (+0.36%/anno), primaverile (+0.32%/anno) ed autunnale (+0.28%/anno).



Trend Anomalie Precipitazioni

Dall'analisi non risultano particolari differenze nel confronto tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (*Thiel-Sen slope*). L'andamento annuale della polinomiale risulta piuttosto articolato, con una lieve decrescita fino alla fine degli anni '90, e un notevole incremento dalla fine degli anni '90 ad oggi. Le stagioni primaverile ed invernale confermano l'andamento, ma con dei flessi alla fine degli anni '90 molto più consistenti. La stagione autunnale mostra invece un periodo di lieve decremento meteorico fino alla fine degli anni '70, a cui segue un costante incremento moderato. La stagione estiva (unica con trend negativo) evidenzia un andamento opposto a quello autunnale, con un notevolissimo e costante decremento dalla fine degli anni '70 ad oggi (da notare come gli outliers negativi siano quasi tutti concentrati negli ultimi 15 anni).





4.2 Anomalie Temperature

I risultati dell'analisi dei trend delle anomalie delle temperature sono riportati nella tabella 4.2.1 di seguito riportata:

	Mann-Kendall – Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Thiel-Sen slope
Annual_Tm	0.503	0.000	0.047
Autumn_Tm	0.330	0.000	0.033
Spring_Tm	0.394	0.000	0.046
Summer_Tm	0.542	0.000	0.075
Winter_Tm	0.177	0.059	0.020
Annual_Tn	0.407	0.000	0.048
Autumn_Tn	0.348	0.000	0.049
Spring_Tn	0.330	0.000	0.050
Summer_Tn	0.427	0.000	0.071
Winter_Tn	0.260	0.006	0.040
Annual_Tx	0.550	0.000	0.038
Autumn_Tx	0.184	0.052	0.014
Spring_Tx	0.396	0.000	0.044
Summer_Tx	0.605	0.000	0.077
Winter_Tx	0.005	0.959	0.000

Tabella 4.2.1 – Coefficienti statistici considerati per l'analisi dei trend delle anomalie annuali e stagionali delle temperature medie, minime e massime.

Dalla disamina della tabella 4.2.1 il segnale termico relativo al periodo di analisi, calcolato sull'anomalia relativa al CLINO 1971-2000, mostra un **trend di crescita per tutte le stagioni nel corso dell'anno**, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino Mediterraneo. **Gli incrementi termici medi variano tra +0.048°C/anno per i valori termici minimi (Tn) e +0.038°C/anno per i valori termici massimi (Tx), con una media (Tm) pari a +0.048°C/anno.**

Considerando l'intero periodo di analisi, **l'aumento delle temperature medie (Tm) risulta di circa 2.6°C**, con valori minimi di circa 0.8°C in autunno e massimi di circa 4.1°C in estate.





Analogamente all'incremento medio, l'**aumento delle temperature minime (Tn) risulta di circa 2.6°C**, con valori minimi in inverno di circa 2.2°C e massimi di circa 3.9°C in estate. L'**aumento delle temperature massime (Tx) risulta di circa 2.1°C**, con valori minimi prossimi allo zero in inverno, e massimi di circa 4.2°C in estate.

La significatività statistica è comprovata per tutte le stagioni e per l'intero anno (*p_value sempre < 0,05*), con valori quasi sempre prossimi a zero, a conferma della quasi assoluta certezza delle tendenze evidenziate.

Eccezione va fatta per le Tx invernali, con un grado di non significatività molto elevato. La Tm invernale e la Tx autunnale risultano leggermente al di sopra la soglia della significatività, ma in maniera del tutto trascurabile.

I risultati mostrano con evidenza come nei primi anni '80 si sia verificata un'inversione di tendenza delle temperature: ad un primo ventennio di modesto abbassamento, segue un secondo ventennio di riscaldamento marcato. Dalla fine degli anni '90 la crescita risulta leggermente attenuata.



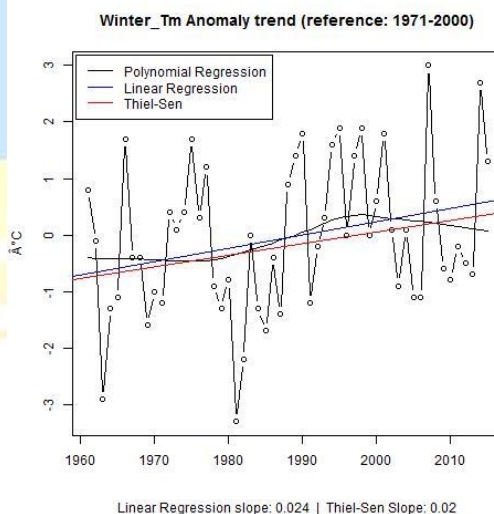
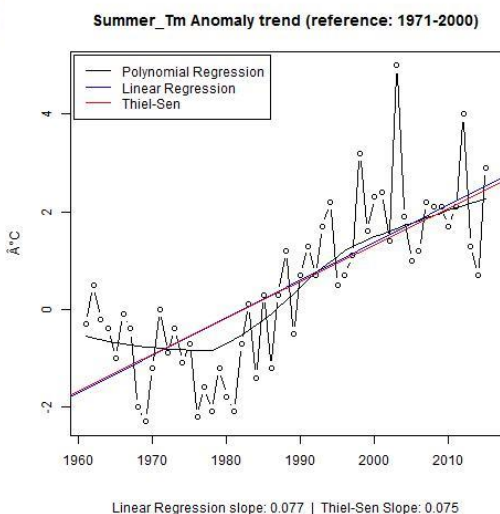
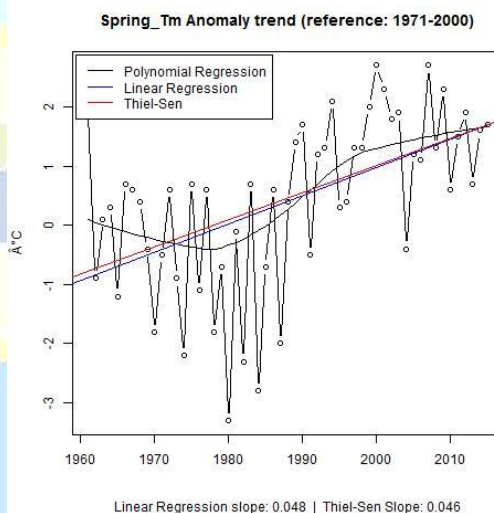
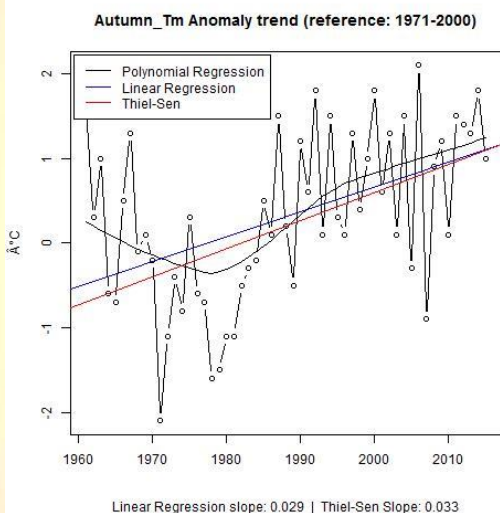
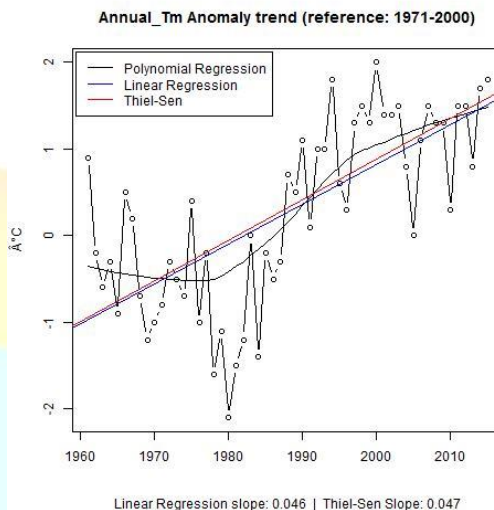


Trend Anomalie Temperature Medie (Tm)

Dall'analisi non risultano particolari differenze nel confronto tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (*Thiel-Sen slope*).

I **trend** mostrano un **andamento crescente** per tutte le stagioni nell'anno. L'**aumento annuale** è di circa $+0.047^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, massimo durante la **stagione estiva** ($+0.075^{\circ}\text{C}/\text{anno}$), e minimo durante la **stagione invernale** ($+0.020^{\circ}\text{C}/\text{anno}$).

Ad eccezione della stagione invernale, risulta evidente come all'inizio degli anni '80 si verifichi una fase di riscaldamento più marcato, che sembra leggermente attenuarsi dalla fine degli anni '90.



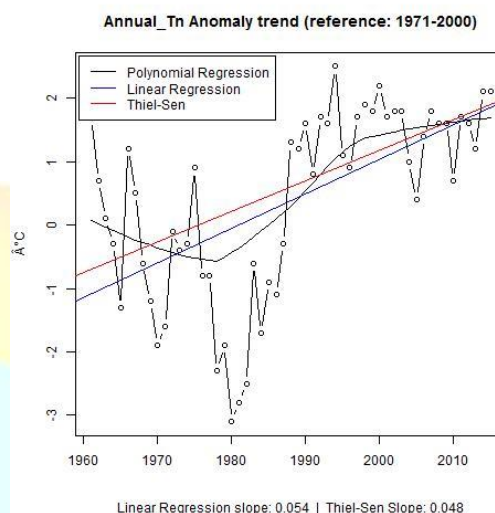


Trend Anomalie Temperature Minime (Tn)

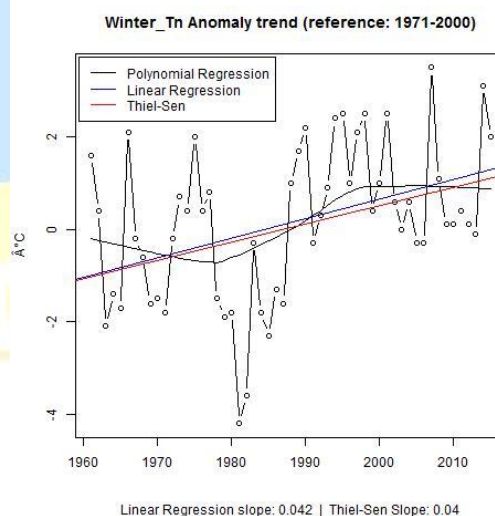
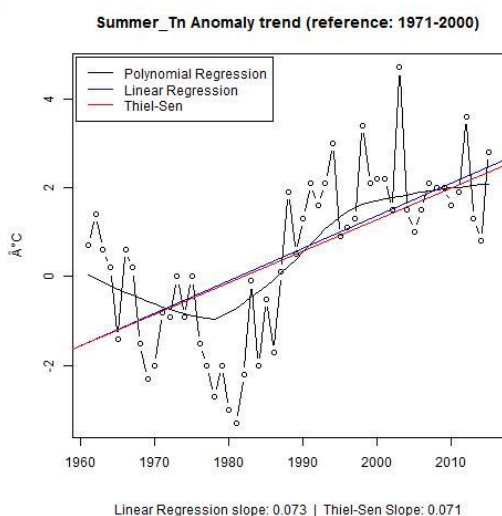
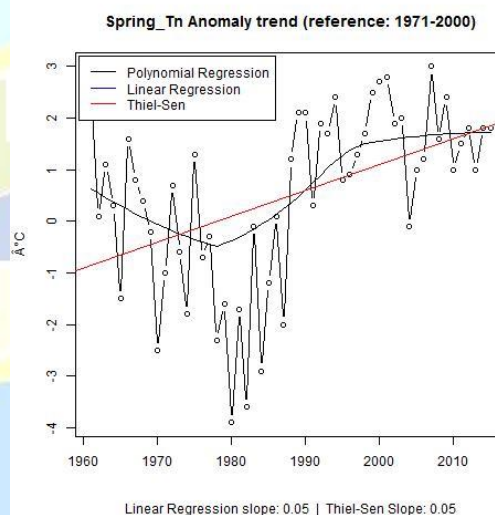
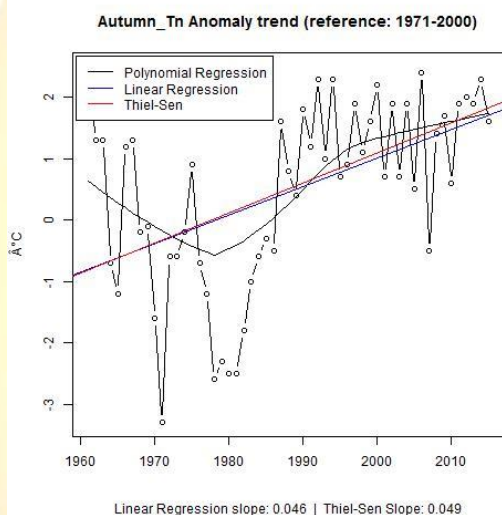
Dall'analisi non risultano particolari differenze nel confronto tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (*Thiel-Sen slope*).

I **trend** mostrano un **andamento crescente** per tutte le stagioni nell'anno. L'**aumento annuale** è di circa $+0.048^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, massimo durante **la stagione estiva** ($+0.071^{\circ}\text{C}/\text{anno}$), più contenuto durante le **altre stagioni** (circa $+0.045^{\circ}\text{C}/\text{anno}$).

Come per le Tm, risulta evidente come all'inizio degli anni '80 si verifichi una fase di riscaldamento più marcato, che sembra leggermente attenuarsi dalla fine degli anni '90.



31

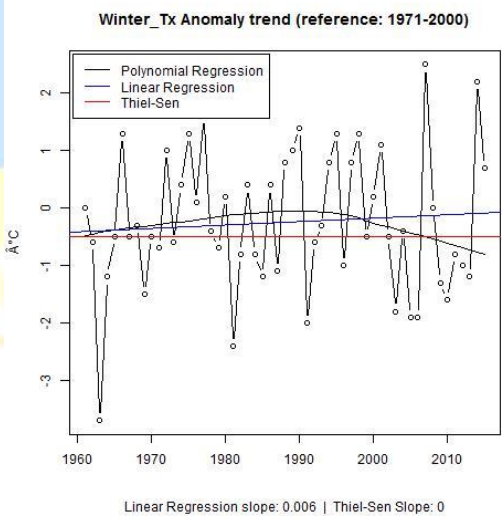
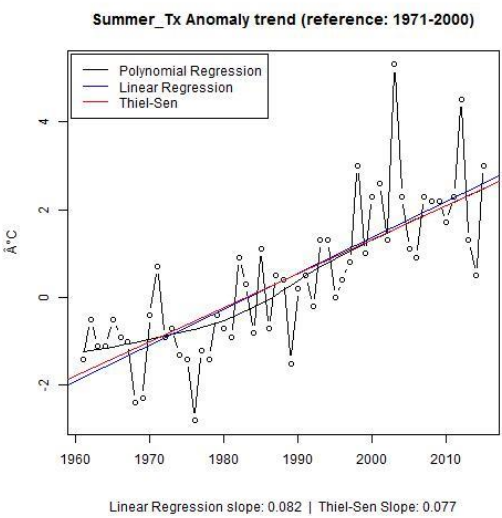
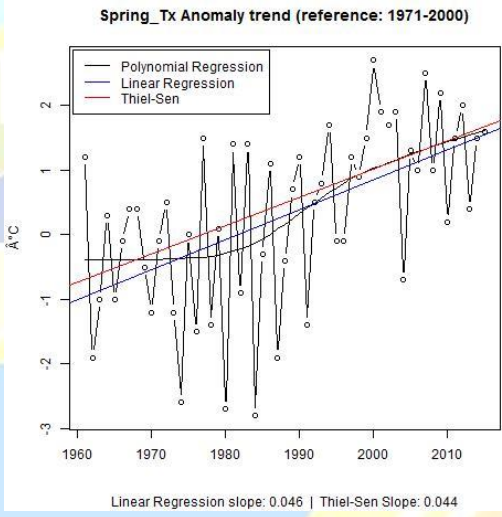
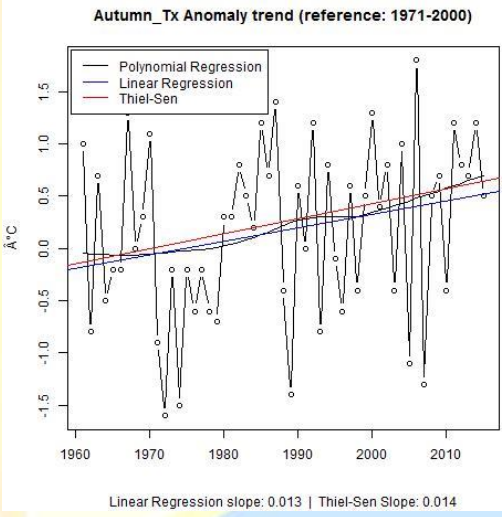
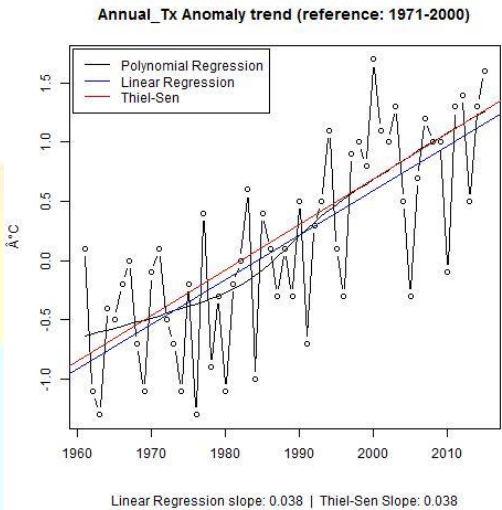




Trend Anomalie Temperature Massime (Tx)

Dall'analisi non risultano particolari differenze nel confronto tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (*Thiel-Sen slope*).

I **trend** mostrano un **andamento crescente** per tutte le stagioni nell'anno. L'**aumento annuale** di Tx è di circa **+0.038°C/anno**, massimo durante la **stagione estiva** (+0.077°C/anno), praticamente nullo durante la **stagione invernale** (circa +0.035°C/anno) e minimo in **autunno** (+0.014°C/anno). Come per le Tm e le Tn, all'inizio degli anni '80 si riscontra una fase di riscaldamento, sebbene meno marcato. Per il trend delle massime invernali si riscontra invece un'inversione consistente dalla fine degli anni '90.





5. Indici Climatici Estremi

In questo capitolo vengono presentati 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 Urbino - Osservatorio Meteorologico “A. Serpieri”**:

Station:	Urbino – Osservatorio A. Serpieri
Series period:	1961 - 2015
Latitude:	43.43
Longitude:	12.38
Base Period:	1971 – 2000
Elevation:	476 m s.l.m.





5.1 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	0.248	0.175	0.161
R95p (Very wet days)	Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period	mm	r95p	1.092	0.990	0.275
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	0.017	0.011	0.149
CDD (Consecutive Dry Days)	Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm	day	cdd	0.111	0.053	0.043
R20 (Very heavy precipitation days)	Annual count of days when daily PRCP \geq 20 mm	days	r20mm	0.009	0.031	0.771

Tabella 5.1 – Indici estremi e relativi coefficienti statistici considerati per le precipitazioni.

Gli indici estremi di precipitazione mostrano trend statisticamente poco significativi, anche a causa della scarsa coerenza spaziale del dato. Tuttavia, i risultati indicano tendenze piuttosto definite, in linea con il trend annuale del regime pluviometrico in leggero aumento (si veda Capitolo 4.1), mostrando un **aumento delle precipitazioni nell'ultimo ventennio (SDII, RX1day), comunque non caratterizzate da eccezionalità nelle quantità cumulate, ed un andamento pressoché costante dei periodi siccitosi (CDD), la cui crescita si interrompe a fine anni '90.**

Nello specifico:





- L'indice di giorni con precipitazione molto intensa (R20) non risulta statisticamente significativo ($p_value\ 0.771$) e mostra un trend complessivo leggermente in crescita, specialmente a partire dagli anni 2000;
- l'indice di precipitazioni massime giornaliere (RX1day), che risulta poco al di sopra della soglia della significatività ($p_value\ 0.161$), registra invece un trend in crescita più consistente (+0.248 mm/anno), con un aumento notevole da metà degli anni '90;
- l'indice dei giorni molto piovosi (R95p), che non risulta statisticamente significativo ($p_value\ 0.275$), evidenzia una crescita annuale consistente di 1.092 mm, anche in questo caso con un aumento moderato dalla fine degli anni '90;
- anche l'indice dei periodi di giorni consecutivi di siccità (CDD), statisticamente significativo, mostra una leggera tendenza in crescita (+0.111 giorni/anno), seppur dagli anni 2000 l'andamento sia in lieve decrescita;
- infine, l'indice di intensità di pioggia (SDII), che risulta poco al di sopra della soglia della significatività ($p_value\ 0.149$), mostra una debole crescita annuale per tutto il periodo (0.017 mm/giorno), registrando i due picchi massimi negli ultimi 5 anni.

Non si assiste comunque ad un cambiamento significativo dei caratteri “estremi” del regime precipitativo locale, sottolineando 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).





RX1day (Max 1-day precipitation amount)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total

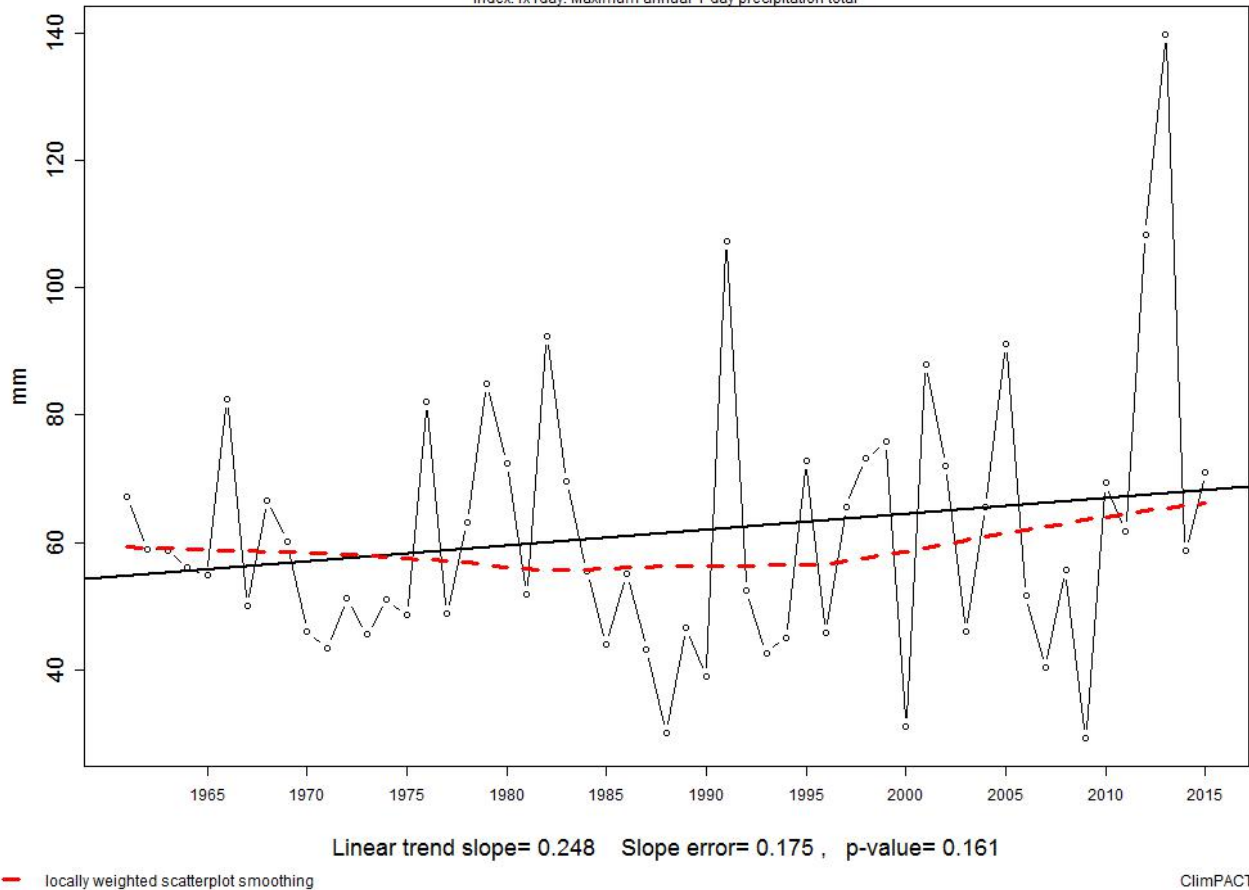


Figura 5.1.1 – Andamento del massimo quantitativo di pioggia caduto nelle 24h.

L'indice di precipitazioni massime giornaliere (RX1day), che risulta poco al di sopra della soglia della significatività ($p_value\ 0.161$), mostra un trend complessivo leggermente in crescita (+0.248 mm/anno). L'andamento della polinomiale è alquanto articolato, ed è contraddistinto da un primo periodo, fino alla fine degli anni '80, in decrescita moderata, e dagli inizi degli anni '90 fino ad oggi in crescita moderata costante.

Interessante notare come nell'ultimo ventennio la frequenza dei valori al di sopra dei 60 mm/giorno sia intensificata.



R95p (Very wet days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

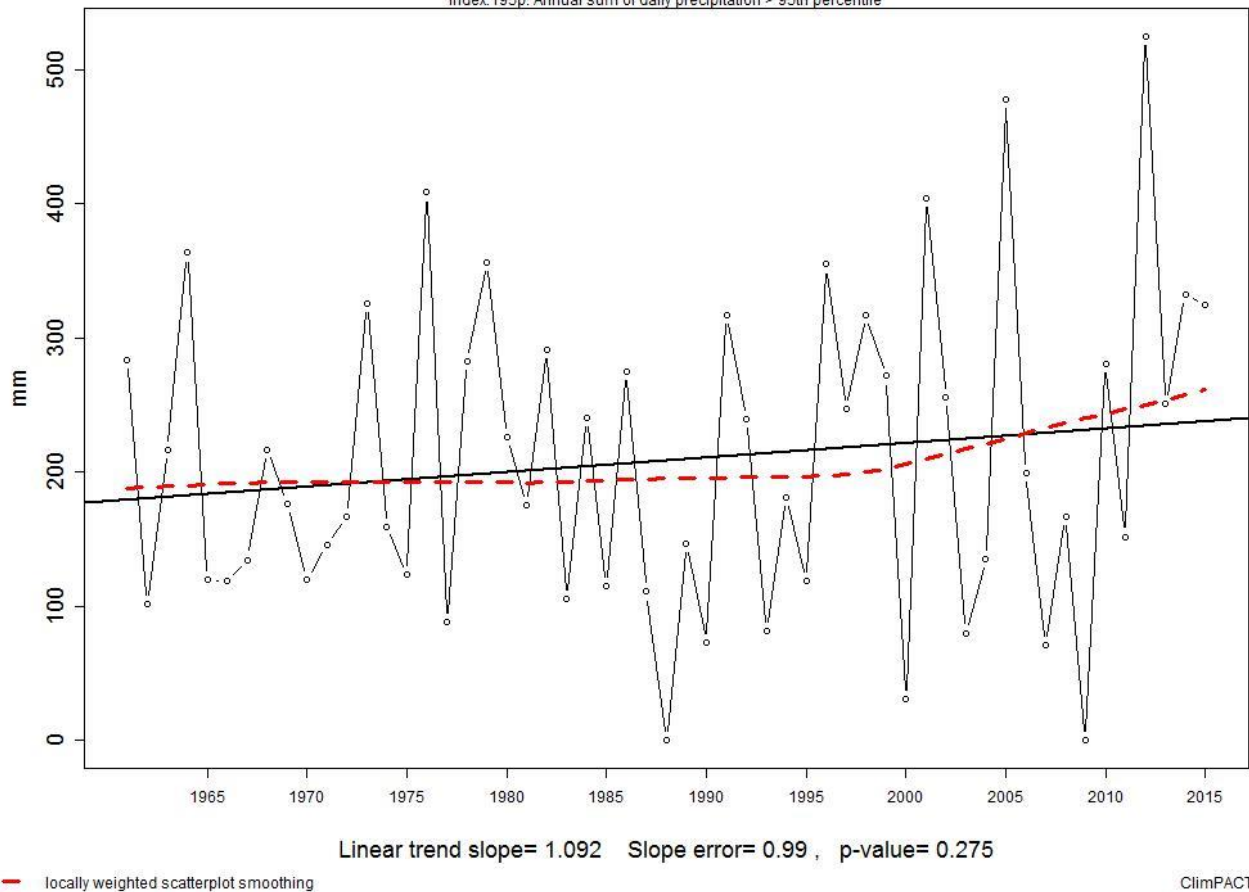


Figura 5.1.2 – Andamento della somma annuale di precipitazione generata da precipitazioni > 95° percentile.

L'indice dei giorni molto piovosi (R95p) quantifica l'abbondanza delle precipitazioni cumulate nei giorni aventi precipitazioni superiori al 95° percentile del periodo di riferimento. Il trend non risulta statisticamente significativo ($p_value\ 0.275$), e l'andamento della polinomiale mostra un periodo di tendenziale equilibrio fino alla fine degli anni '90, a cui segue una fase di crescita moderata fino ad oggi.

Anche in questo caso, è interessante notare come nell'ultimo ventennio la frequenza dei valori al di sopra dei 300 mm sia notevolmente intensificata.



SDII (Simple Daily Intensity Index)

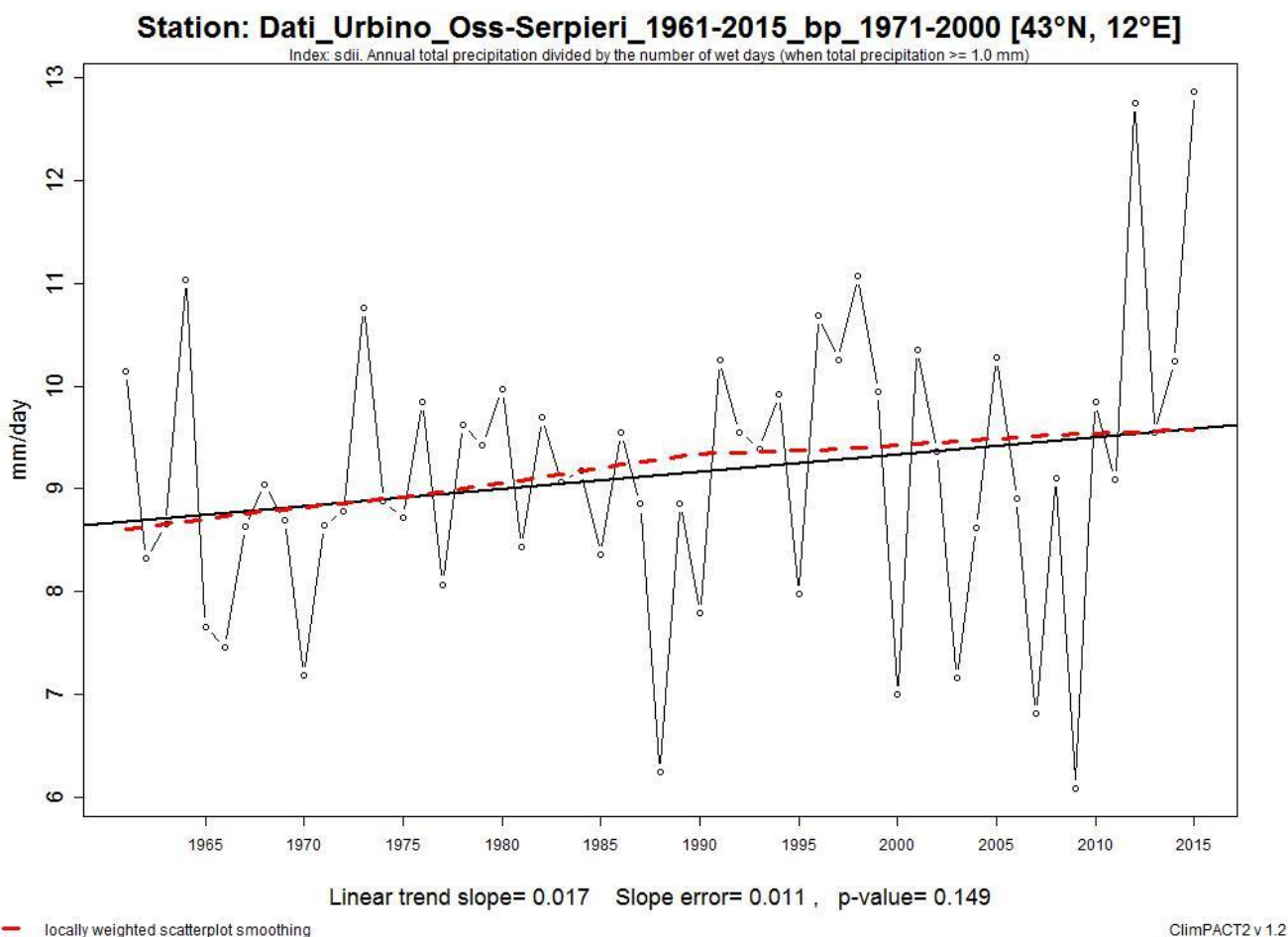


Figura 5.1.3 – Andamento dell'intensità della precipitazione durante giorni piovosi (≥ 1 mm).

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 risulta poco al di sopra della soglia della significatività ($p_value 0.149$), e mostra una debole crescita annuale per tutto il periodo (0.017 mm/giorno). L'andamento della polinomiale mostra un andamento in lieve crescita costante per tutto il periodo di analisi.

Interessante notare come nell'ultimo ventennio la frequenza dei valori al di sopra dei 10 mm/giorno ed al di sotto degli 8 mm/giorno sia notevolmente intensificata, e come i due picchi massimi siano stati registrati negli ultimi 5 anni.

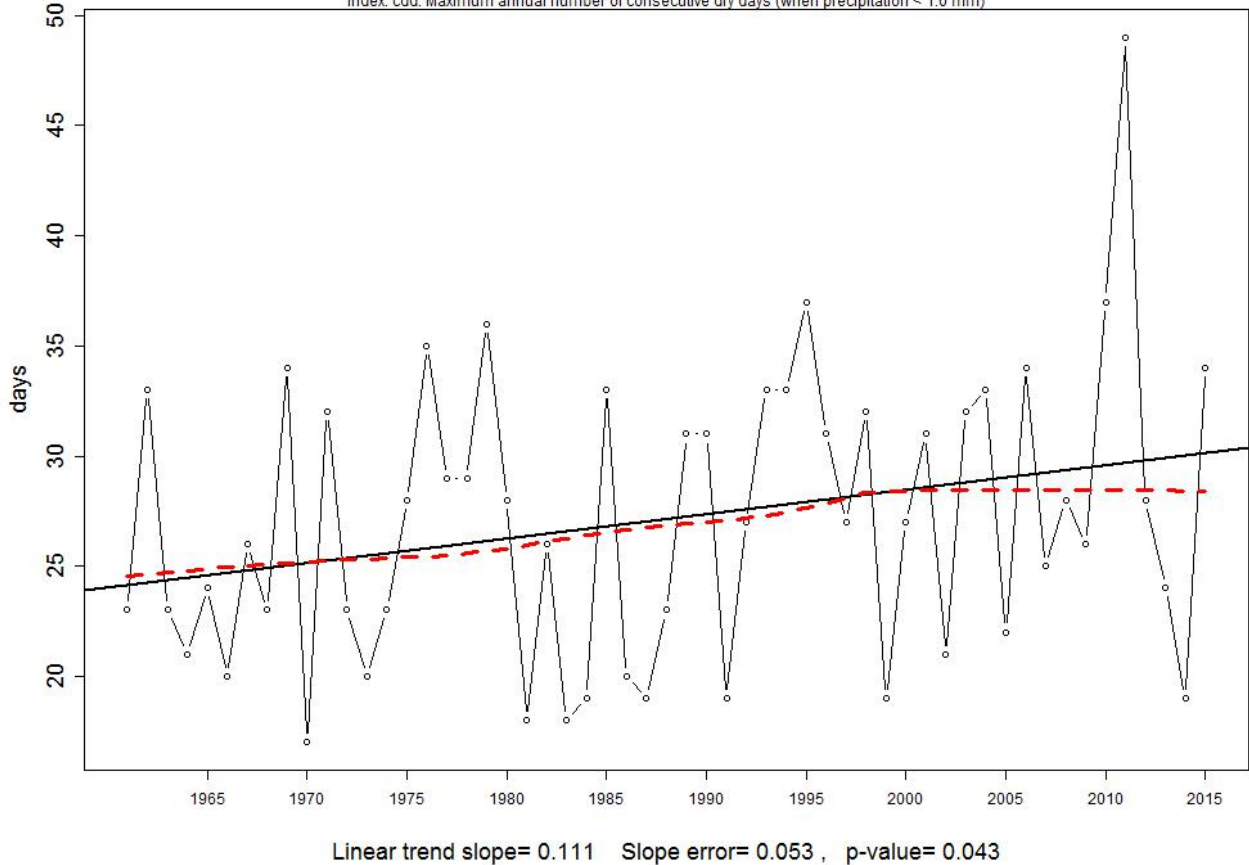




CDD (Consecutive Dry Days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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



— locally weighted scatterplot smoothing

ClimFACT2 v 1.2

Figura 5.1.4 – Andamento dei periodi di giorni consecutivi di siccità.

L'indice dei periodi di giorni consecutivi di siccità 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, l'unico statisticamente significativo, mostra nel complesso un lieve e costante incremento di 0.111 giorni/anno, quantificabile in circa 6 giorni per l'intero periodo di riferimento. L'andamento risulta in crescita fino agli inizi degli anni 2000, a cui segue un periodo di lievissima decrescita fino ad oggi.



R20 (Very heavy precipitation days)

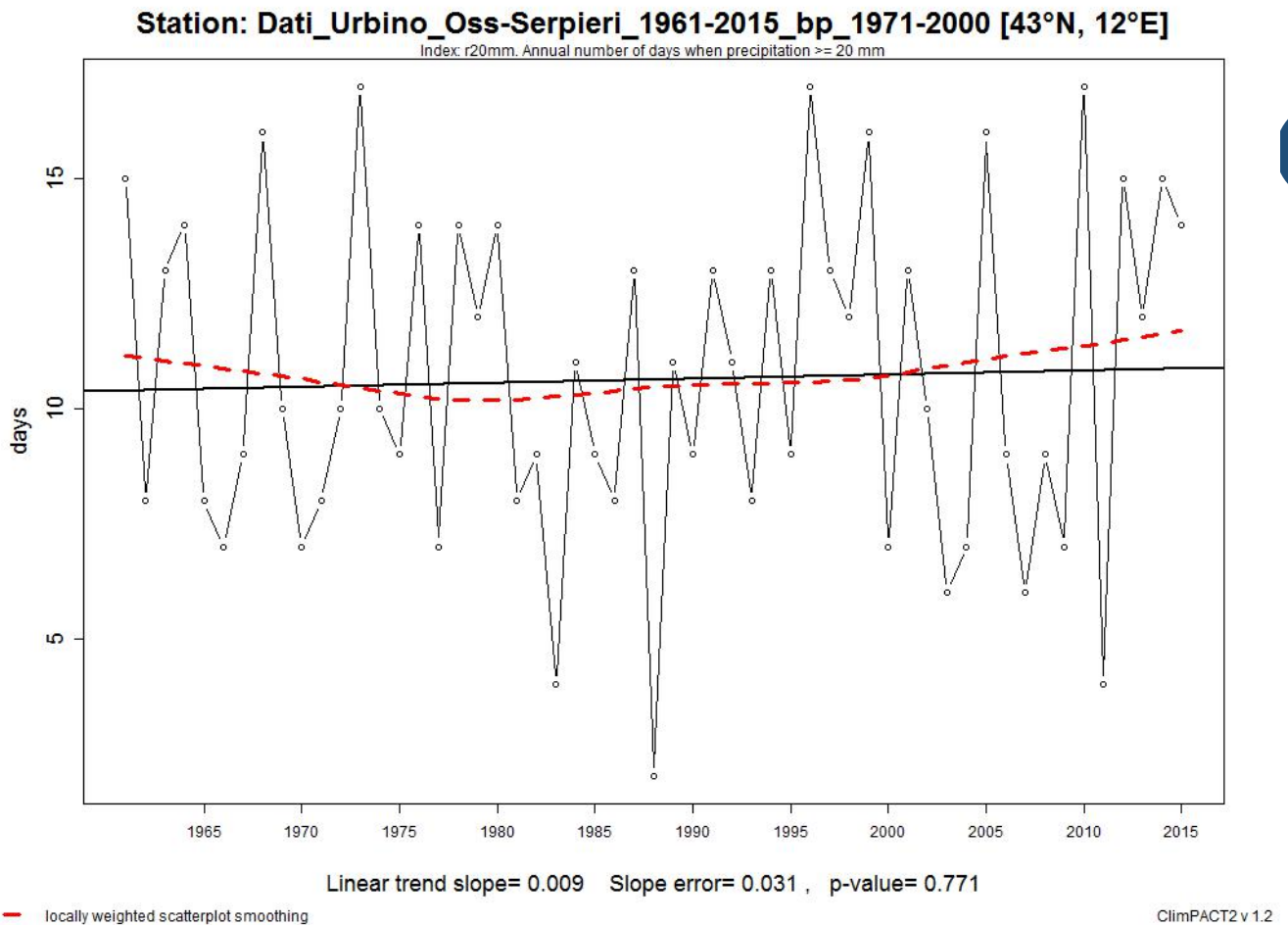


Figura 5.1.5 – Andamento del numero di giorni/anno con precipitazione molto intensa (≥ 20 mm).

L'indice di giorni con precipitazioni molto intense (R20) risulta molto al di sopra della soglia della significatività statistica (p_value 0.771), mostrando comunque nel complesso una lieve tendenza in crescita.

La polinomiale mostra un andamento piuttosto costante, che si attesta intorno ai 10 giorni/anno per tutto il periodo di riferimento, ad eccezione dagli anni 2000 circa in cui l'andamento risulta in leggero aumento.

Interessante notare come nell'ultimo ventennio la frequenza dei valori al di sopra dei 15 giorni sia notevolmente intensificata.



5.2 Indici Climatici Temperatura

Index	Definition	Units	Indices Climact2	Slope	STD_of_Slope	P_Value
FD0 (Frost Days)	Annual count of days when TN (daily minimum) < 0°C	days	fd	-0.494	0.149	0.002
SU25 (Summer days)	Annual count of days when TX (daily maximum) > 25°C	days	su	0.784	0.104	0.000
TR20 (Tropical nights)	Annual count of days when TN (daily minimum) > 20°C	days	tr	0.681	0.118	0.000
TN10P (Cold nights)	Percentage of days when TN < 10th percentile of the base period	%	tn10p	-0.229	0.063	0.001
TN90P (Warm nights)	Percentage of days when TN > 90th percentile of the base period	%	tn90p	0.345	0.056	0.000
TX10P (Cold days)	Percentage of days when TX < 10th percentile of the base period	%	tx10p	-0.093	0.025	0.001
TX90P (Warm days)	Percentage of days when TX > 90th percentile of the base period	%	tx90p	0.318	0.031	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	0.558	0.079	0.000
SU30* (Hot days)	Annual count when TX ≥ 30°C	days	TXge30	0.685	0.081	0.000

Tabella 5.2 – Indici estremi e relativi coefficienti statistici considerati per le temperature.



Dall'analisi effettuata, tutti gli indici estremi relativi alle temperature minime e massime risultano statisticamente significativi, con valori di *p_value* prossimi allo zero, a conferma del fatto che i trend sono assolutamente certi.

I risultati emersi sono in linea con quanto osservato nel *Rapporto ISPRA 37/2013 Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia*, benché questo consideri un periodo di osservazione più breve (1961 – 2012) e la normale climatica sia riferita al CLINO 1961 – 1990, evidenziando una **tendenza al riscaldamento a partire dai primi anni '80**.

Si riscontra un **aumento del valore degli indici che descrivono gli estremi di caldo** (SU25, SU30, TN90P, TX90P, WSDI), del numero di notti tropicali (TR20), ed una netta prevalenza di anomalie positive a partire dagli anni '90. Viceversa, si riscontra un **decremento del valore degli indici che descrivono gli estremi di freddo** (FD0, TN10P, TX10P), che mostrano una prevalenza di anomalie negative dall'inizio degli anni '90 ad oggi.

Nello specifico:

Indici che descrivono gli estremi di caldo

- l'**indice dei giorni estivi (SU25)** mostra l'aumento più notevole (+0.784 giorni/anno, pari a circa 45 giorni per l'intero periodo analizzato);
- l'**indice dei giorni molto caldi (SU30)** è in aumento poco inferiore a SU25 (+0.685 giorni/anno, pari a circa 38 giorni per l'intero periodo analizzato);
- l'**indice delle notti tropicali (TR20)** mostra un aumento simile a SU30 (+0.681 giorni/anno, pari a circa 37 giorni per l'intero periodo analizzato);
- l'**indice delle ondate di calore (WSDI)** registra un incremento inferiore ai precedenti, ma comunque consistente (+0.558 periodi/anno, pari a circa 30 periodi/anno per l'intero intervallo temporale analizzato);
- l'**indice delle notti calde (TN90P)** è in crescita moderata (+0.345 %/anno, pari a circa il 19% per l'intero intervallo temporale analizzato);
- l'**indice dei giorni consecutivi caldi (TX90P)** mostra un aumento simile a TN90P (+0.318 %/anno, pari a circa il 17% per l'intero intervallo temporale analizzato).





Indici che descrivono gli estremi di freddo

- l'**indice dei giorni di gelo (FD0)** mostra un'evidente decrescita (-0.494 giorni/anno, pari a quasi 30 giorni per l'intero periodo analizzato);
- l'**indice delle notti fredde (TN10P)** è in decrescita moderata (-0.229%/anno, pari a circa il -12.5% per l'intero periodo analizzato);
- l'**indice dei giorni freddi (TX10P)** rileva un lieve decremento (-0.093%/anno, pari a circa il -5% per l'intero periodo analizzato).





FD0 (Frost Days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

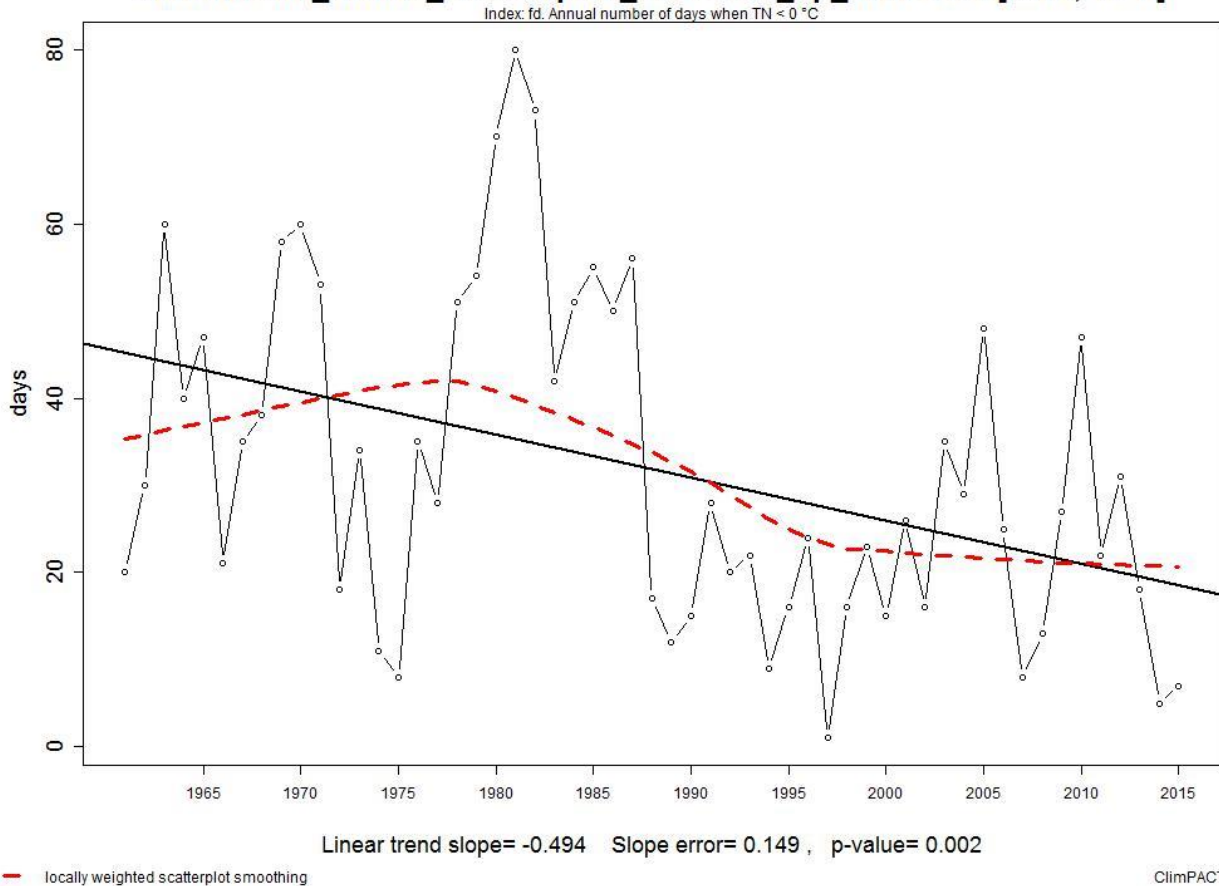


Figura 5.2.1 – Andamento del numero annuo dei giorni di gelo ($T_n < 0^{\circ}C$).

Il trend mostra un evidente decremento del numero dei giorni di gelo quantificabile in -0.494 giorni/anno, pari a circa 27 giorni per l'intero periodo analizzato.

L'andamento della polinomiale è piuttosto articolato, evidenziando una repentina decrescita dei giorni di gelo dalla fine degli anni '70 alla fine degli anni '90, a cui segue un periodo fino ad oggi in lieve decrescita.

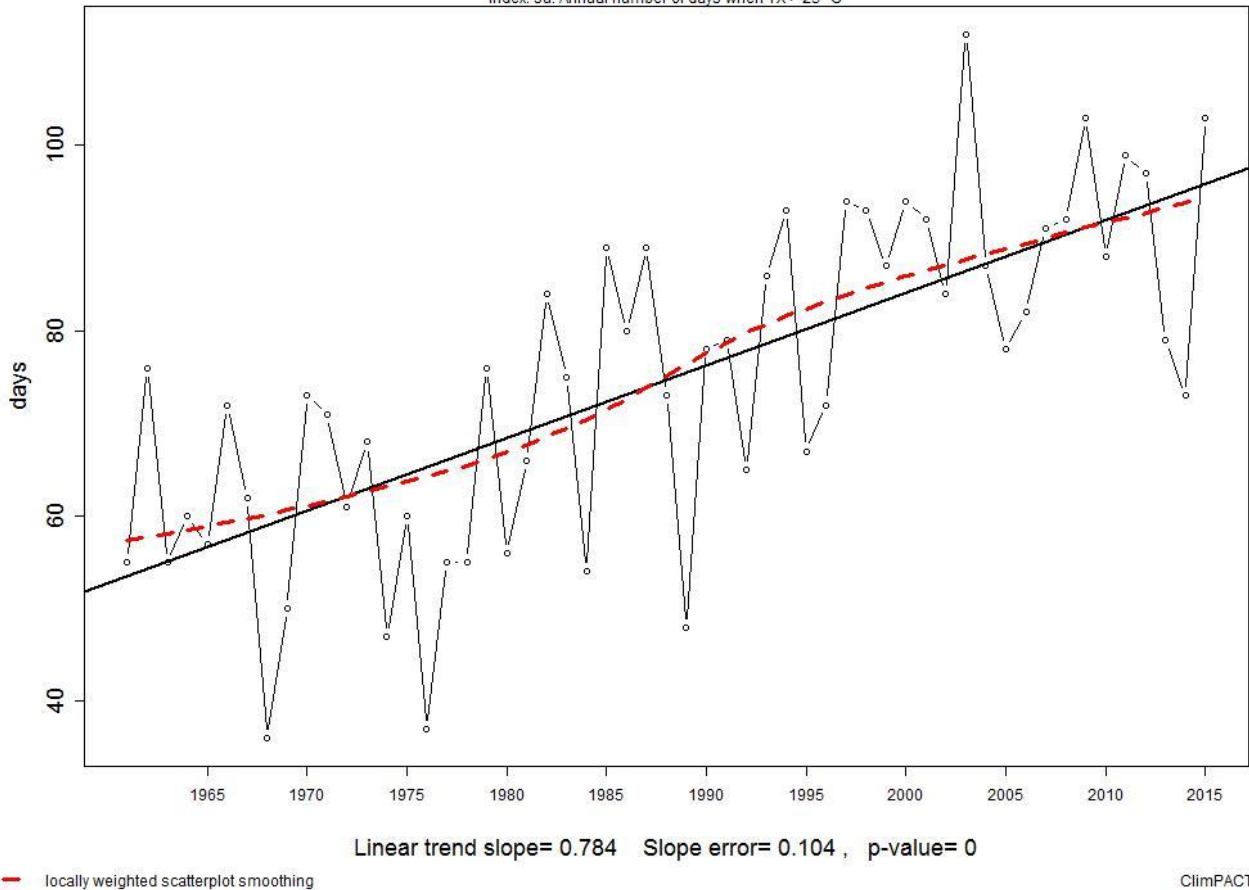
Interessante notare come negli ultimi 30 anni sia aumentata notevolmente la frequenza dei valori al di sotto dei 20 giorni/anno.



SU25 (Summer days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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



45

Figura 5.2.2 – Andamento del numero annuo delle giornate estive ($T_x > 25\text{ °C}$).

Il trend mostra un evidente aumento costante per tutto il periodo di analisi del numero di giorni caldi con temperature massime $> 25\text{ °C}$, quantificabile in $+0.784$ giorni/anno, pari a circa 45 giorni per l'intero periodo analizzato.

Interessante notare come fino agli inizi degli anni '90 non sono stati registrati valori superiori ai 90 giorni/anno; inversamente, dall'inizio degli anni '90 non sono stati più registrati valori inferiori ai 60 giorni/anno.





TR20 (Tropical nights)

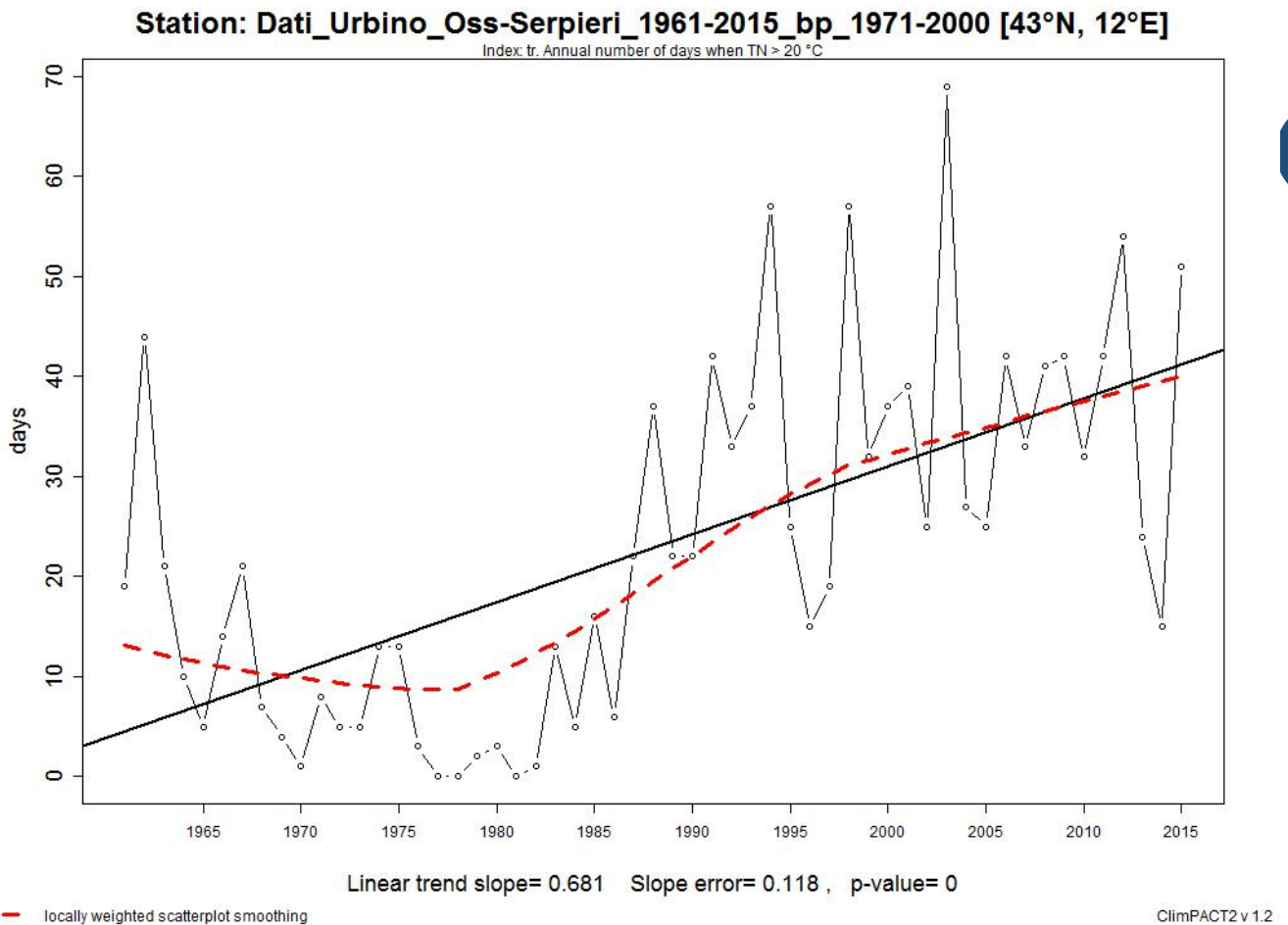


Figura 5.2.3 – Andamento del numero annuo delle notti tropicali ($T_n > 20\text{ }^\circ\text{C}$).

Il trend mostra un'evidente crescita del numero delle notti tropicali con $T_n > 20\text{ }^\circ\text{C}$, quantificabile in $+0.681$ giorni/anno, pari a circa 37 giorni per l'intero periodo analizzato.

E' evidente come dalla fine degli anni '70 il trend subisce un'inversione in notevole aumento, e come dalla fine degli anni '80 il segnale si attesta su valori superiori ai 30 giorni/anno, a differenza di quanto emerge dal periodo precedente in cui i valori risultano quasi sempre inferiori ai 10 giorni/anno.





TN10P (Cold nights)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

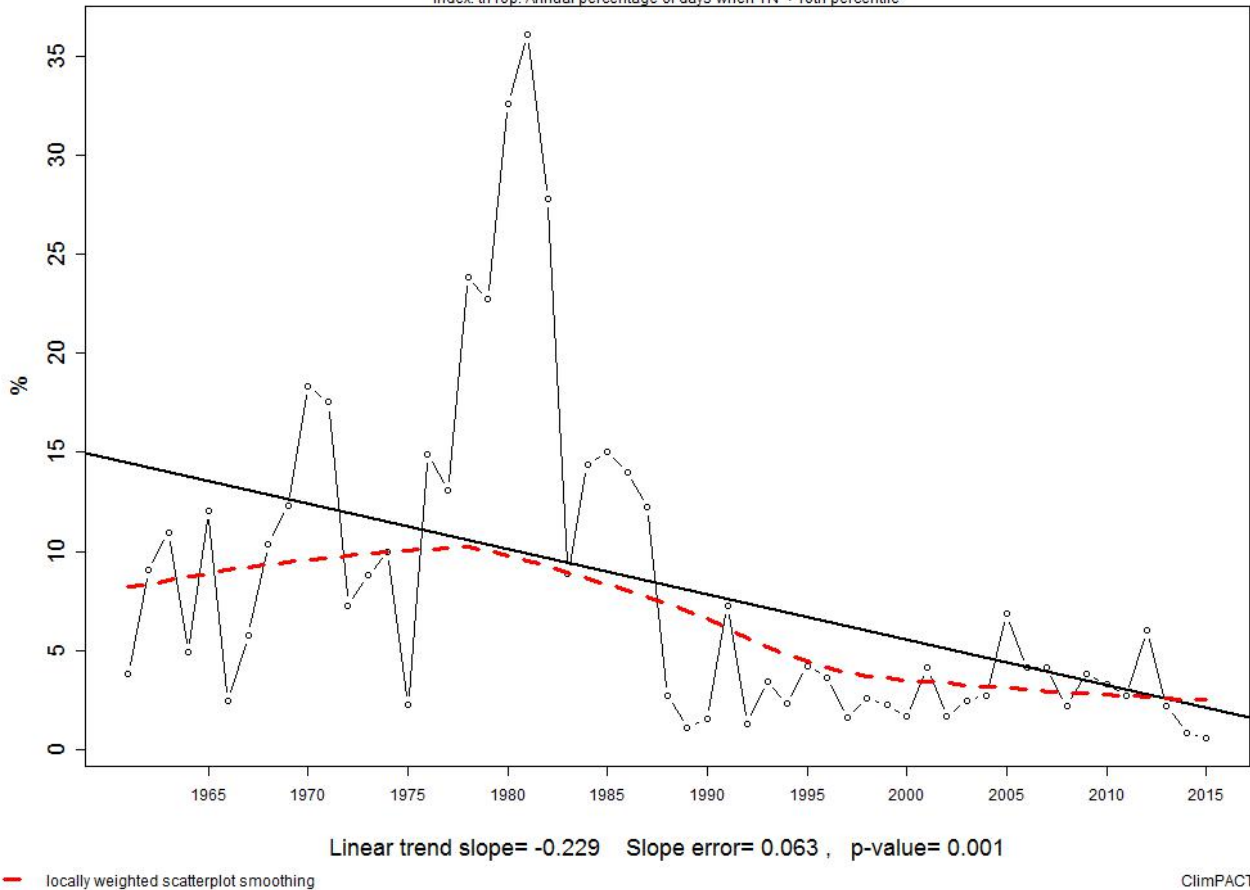


Figura 5.2.4 – Andamento del numero annuo (%) notti fredde ($T_n < 10^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

Il trend mostra un notevole decremento del numero dei giorni con temperature minime particolarmente basse ($< 10^\circ$ percentile del CLINO di riferimento) quantificabile in $-0.229\%/anno$, pari a circa il -12.5% per l'intero periodo analizzato.

Anche in questo caso è evidente come dagli anni '80 la tendenza sia in progressivo calo, con il numero annuale dei giorni particolarmente freddi quasi sempre inferiori ai 5 giorni/anno.



TN90P (Warm nights)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

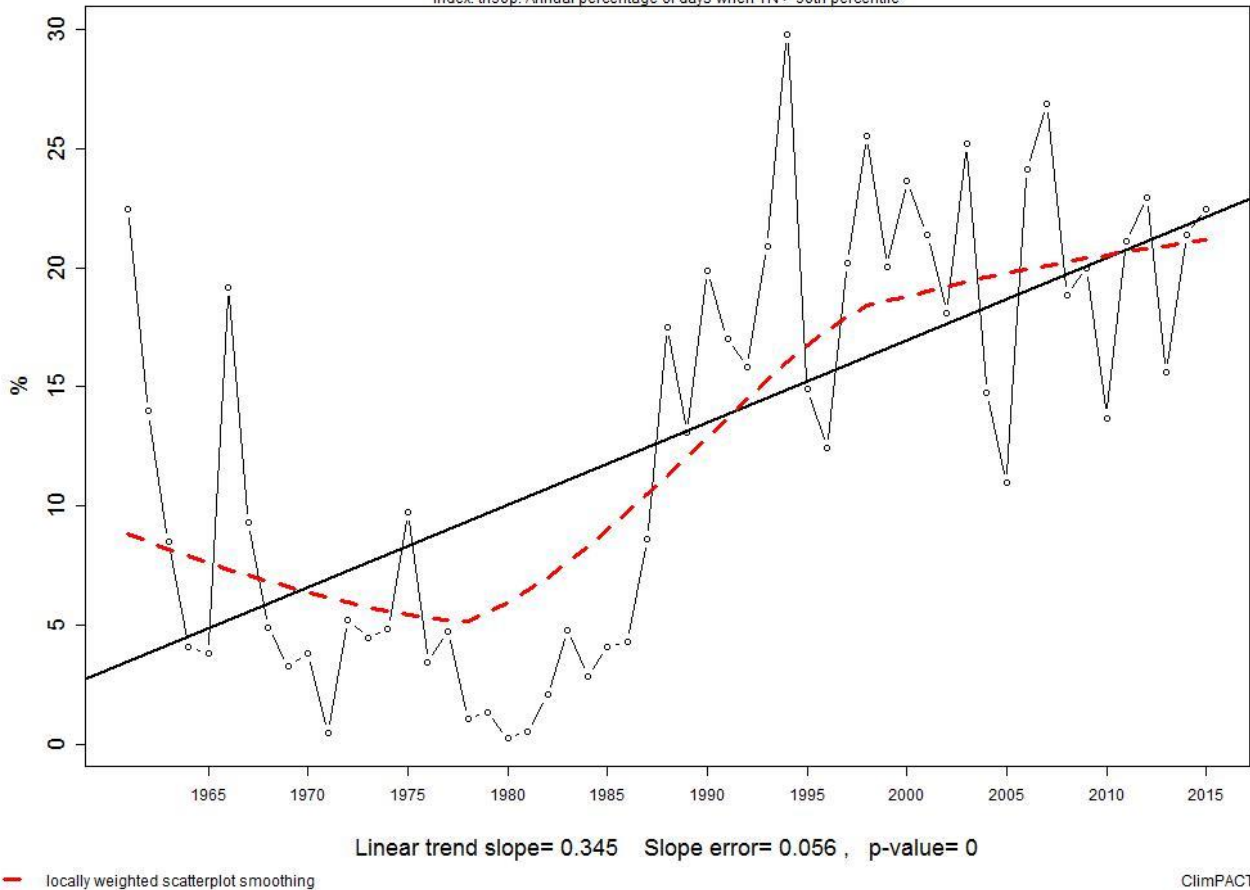


Figura 5.2.5 – Andamento del numero annuo (%) notti calde ($T_n > 90^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

L'indice speculare delle notti calde (ovvero giornate con temperatura minima $> 90^\circ$ percentile del CLINO di riferimento) mostra un trend in evidente aumento, quantificabile in $+0.345\%/anno$, pari a circa il 19% per l'intero periodo analizzato.

Anche in questo caso è evidente l'aumento di temperature a partire dalla metà degli anni '80, registrando un notevole aumento della frequenza dei valori superiori al 15%.



TX10P (Cold days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

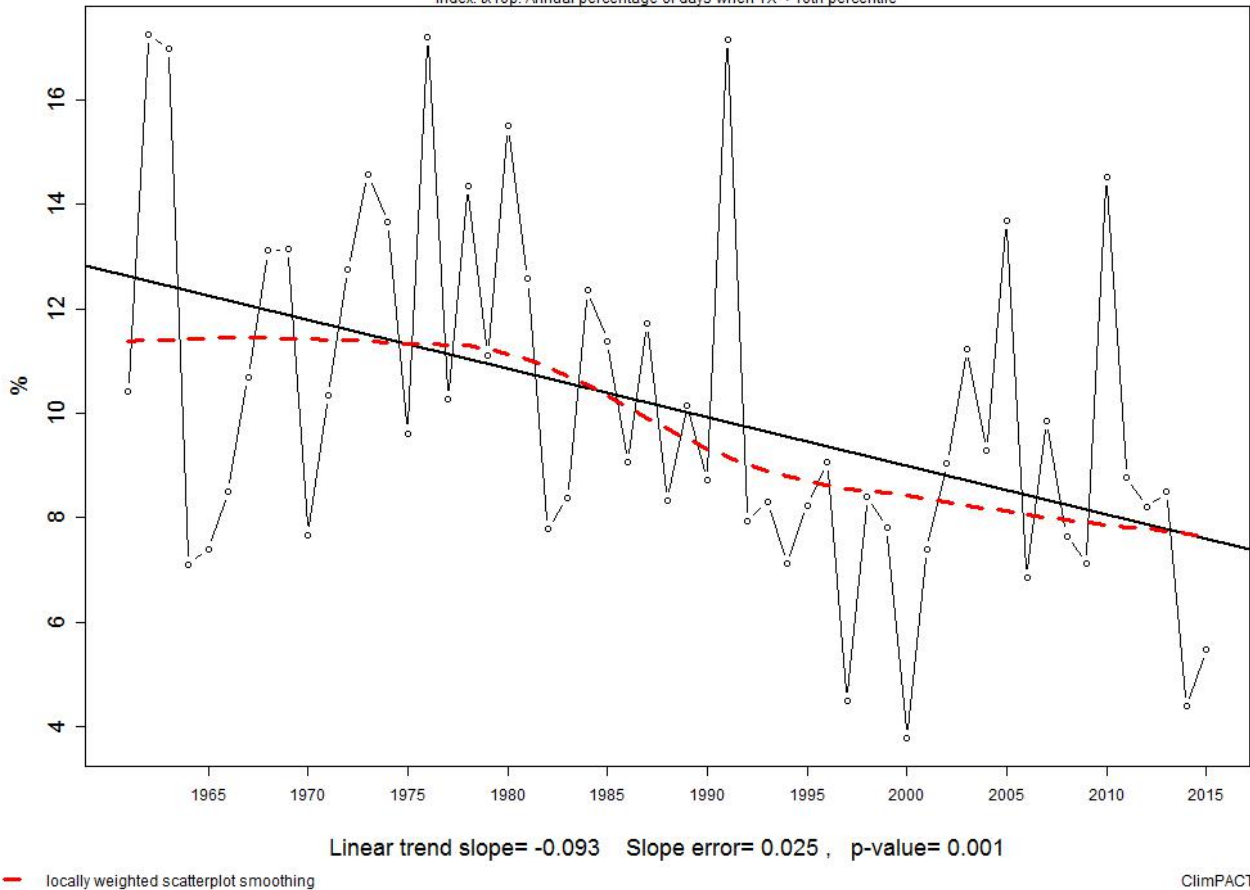


Figura 5.2.6 – Andamento del numero annuo (%) giornate fredde (Tx < 10° percentile CLINO di riferimento).

Il trend del numero dei giorni freddi con temperature massime < del 10° percentile del CLINO di riferimento evidenzia un modesto decremento per tutto il periodo di analisi, quantificabile in - 0.093%/anno, pari a circa il -5% per l'intero periodo analizzato.

Anche in questo caso è evidente l'aumento di temperature a partire dalla metà degli anni '80, seppur a cavallo del 2010 si sia verificato un aumento (con valori simili a quelli degli anni '70).



TX90P (Warm days)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

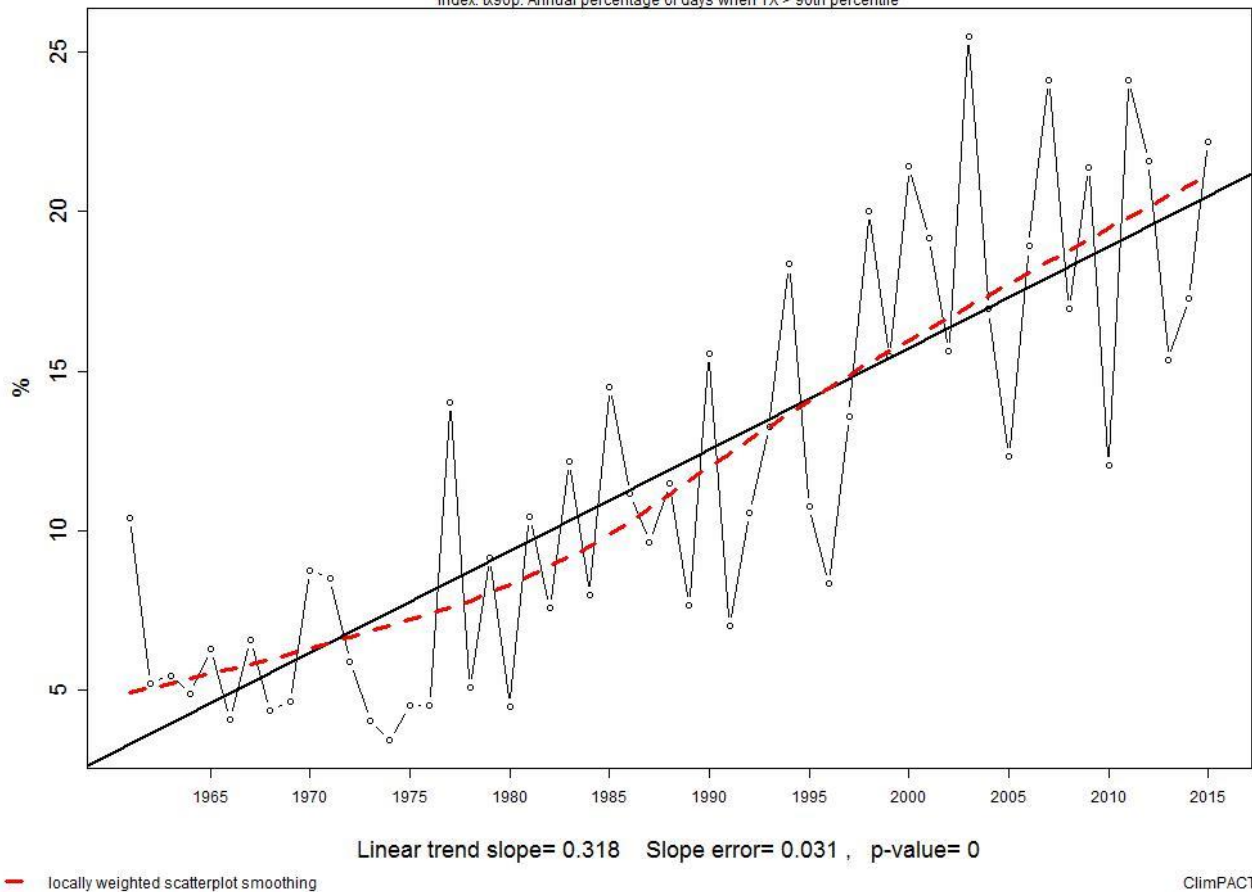


Figura 5.2.7 – Andamento del numero annuo (%) giornate calde (Tx > 90° percentile CLINO di riferimento).

Il trend mostra una notevole crescita costante per tutto il periodo di analisi del numero dei giorni caldi con temperature massime > del 90° percentile del CLINO di riferimento, quantificabile in circa +0.318%/anno, pari a circa il 17% per l'intero periodo analizzato.

E' interessante notare come dagli anni 2000 in poi le temperature aumentano in maniera ancor più consistente, con valori che si attestano perlopiù al di sopra del 15%, una soglia mai raggiunta prima del 1985.



WSDI (Warm Spell Duration Index)

Station: Dati_Urbino_Oss-Serpieri_1961-2015_bp_1971-2000 [43°N, 12°E]

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

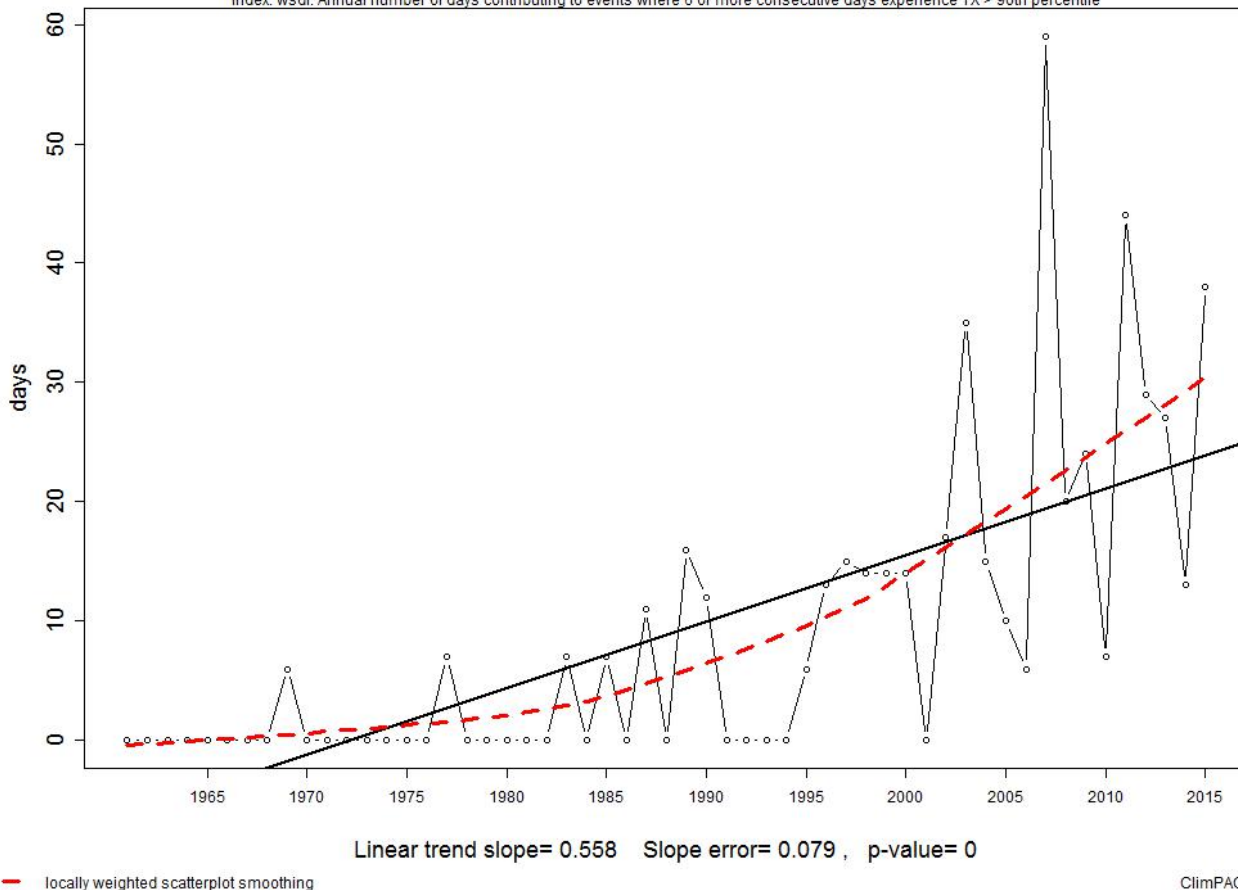


Figura 5.2.8 – Andamento del numero annuo di giorni consecutivi (≥ 6) caldi ($T_x > 90^\circ$ percentile CLINO di riferimento).

Il trend mostra una evidente crescita del numero dei periodi con temperature particolarmente elevate ($T_x > 90^\circ$ percentile del CLINO di riferimento), quantificabile in circa +0.558 periodi/anno, pari a circa 30 periodi/anno per l'intero intervallo temporale analizzato.

E' interessante notare come dalla metà degli anni '80 alla fine degli anni '90 si assiste ad un primo periodo di crescita consistente, e come a partire dagli anni 2000 si verifica un'impennata ancor più notevole, con valori che si attestano perlopiù al di sopra dei 20 periodi/anno.



SU30* (Hot days)

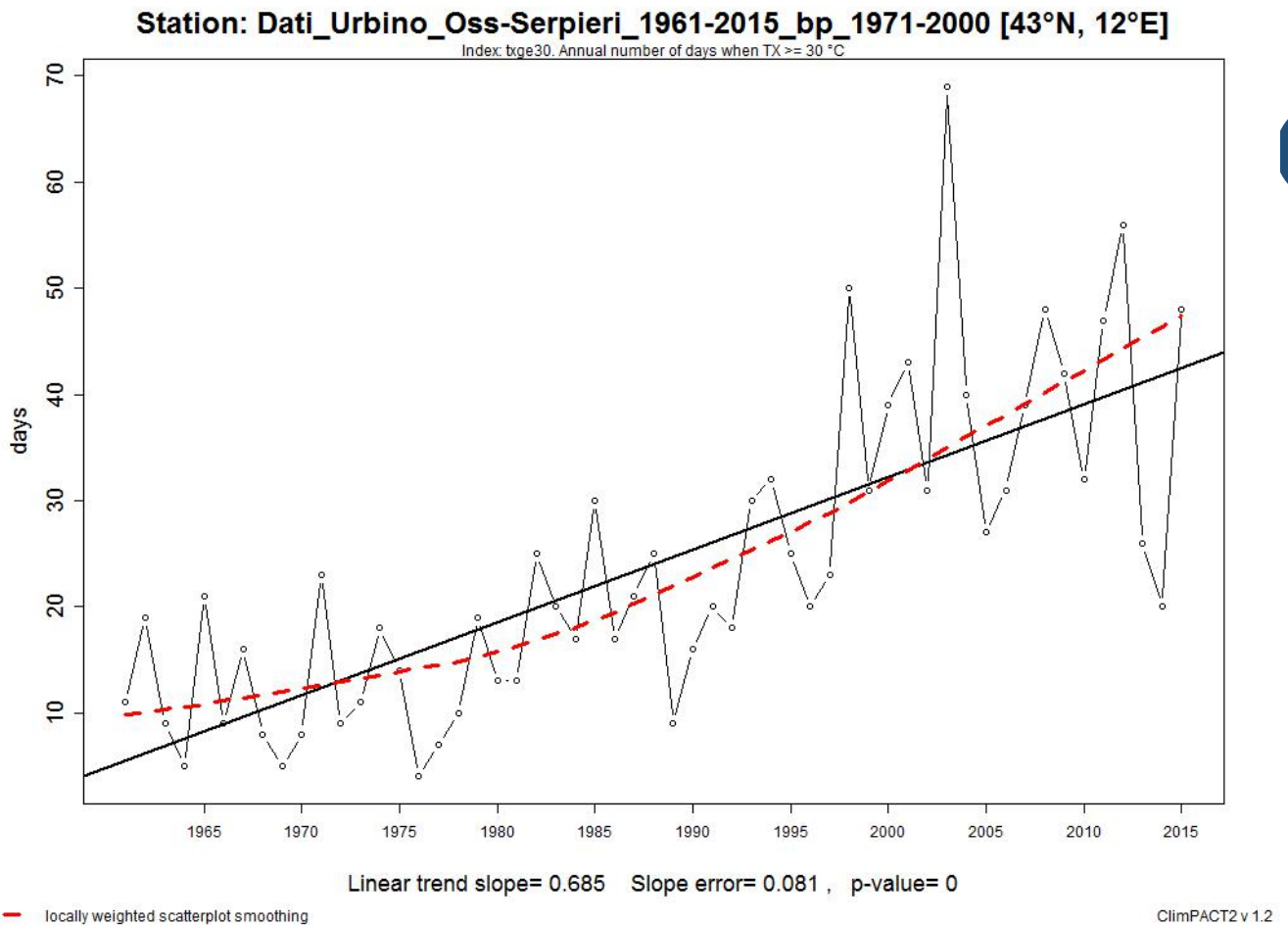


Figura 5.2.9 – Andamento del numero annuo di giorni molto caldi ($T_x > 30$ °C).

Anche in questo caso il trend mostra un'evidente crescita del numero dei giorni caldi con temperature massime > 30 °C, quantificabile in circa $+0.685$ giorni/anno, pari a circa 38 giorni per l'intero periodo analizzato.

Ancora una volta risulta evidente come dall'inizio degli anni '80 il trend sia in aumento consistente, con valori che si attestano quasi costantemente al di sopra dei 30 giorni/anno.





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.
- 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 estremi di temperatura e precipitazione in Italia. ISPRA, Stato dell'Ambiente 37/2013. ISBN 978-88-448-0599-9.
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., (2016). Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. ISPRA, Stato dell'Ambiente 66/2016. ISBN 978-88-448-0780-1.
- EEA (2016). Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Transforming cities in a changing climate. EEA report 12/2016. ISSN 1977-8449.
- Giorgi F, Im E-S, Coppola E, et al (2011) Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *Journal of Climate* 24:5309–5324. doi: 10.1175/2011JCLI3979.1
- Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63:90–104. doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.09.005
- IPCC, 2007: "Climate Change 2007: The physical science basis". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change. Cambridge University Press, NY, USA.
- Kendall, Maurice G., Alan Stuart, and J. K. Ord. The advanced theory of statistics. Vol. 3. London, 1968.
- Quadrelli R, Pavan V, Molteni F (2001) Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies. *Climate Dynamics* 17:457–466. doi: 10.1007/s003820000121
- Seager R, Naik N, Vogel L (2012) Does global warming cause intensified interannual hydroclimate variability? *Journal of Climate* 25:3355–3372. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00363.1
- Toreti A., Xoplaki E, Maraun D, et al (2010) Characterisation of extreme winter precipitation in mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. *Natural Hazards and Earth System Science* 10:1037–1050. doi: 10.5194/nhess-10-1037-2010





- Toreti A, Desiato F, Fioravanti G, Perconti W (2009) Seasonal temperatures over Italy and their relationship with low-frequency atmospheric circulation patterns. *Climatic Change* 99:211–227. doi: 10.1007/s10584-009-9640-0
- Trenberth KE, Dai A, Rasmussen RM, Parsons DB (2003) The Changing Character of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84:1205–1217. doi: 10.1175/BAMS-84-9-1205
- 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.
- 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>
- WMO, 2011. *Guide to Climatological Practices*. WMO-No.100. Geneva.
- Yue S., Pilon P., Cavadias G. (2002a) Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 259:254–271. doi: 10.1016/S0022-1694(01)00594-7
- 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.

