LIFE SEC ADAPT PROJECT

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

CURRENT CLIMATE BASELINE ASSESSMENT REPORT

Municipality of Offida

PROGRAMME	LIFE 2014 – 2020 – Climate Change Adaptation
PROJECT ACRONYM	LIFE SEC ADAPT
PROJECT CODE	LIFE14/CCA/IT/00036
TITLE	Current Climate Baseline Assessment Report
ACTION/TASK RELATED	A.1
DATE OF DELIVERY	31/10/2016
VERSION	Final
AUTHOR(S)	Acciarri Alessio (climate change adaptation expert) – Municipality of Offida

TABLE OF CONTENTS

Abstract in English 4

Abstract in Italiano.....6

1. Introduzione.....9
    1.1. Obiettivi del Progetto Life Sec Adapt 9
    1.2. Action A1: definizione del contest climatico a livello locale.....9
2. Comune di Offida: inquadramento geografico e climatico 10
3. Controllo qualità dei dati e approccio metodologico per l'analisi dei dati a livello locale....13
4. Trend delle anomalie climatiche.....17
    4.1. Precipitazioni.....17
    4.2. Temperature.....29
5. Indici climatici estremi 23
    5.1. Precipitazioni.....24
    5.2. Temperature.....30

Bibliografia 41

Abstract in English

The "current baseline assessment report" is the first technical milestone to define the *adaptation process* at local level. Each of the 17 Municipalities from Istria and Marche region analyses the recent past climate through the recognition and estimate of climate trends of both mean and extreme values.

The collection of available information about climate change and its current trend is a fundamental part of the study and assessment for 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 procedure able to control and estimate the climatic variables trend, in terms of differences or, as in the case of precipitation, percentage differences in the unit of time (year).

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

The analysis are carried out using a common methodology set up by IDA, and regards 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 WMO Commission for Climatology (CCl) Expert Team on Sector-specific Climate Indices).

For the Municipality of Offida, because of the absence of a weather survey station with a complete and continuous series available, data from neighbouring stations representatives of the local climatic context were used.

The station of Spinetoli (AP) was used for the precipitations, it's located at south-east of Offida about 8 km far (Lat.: 42.8901; Lon: 13.7700; Alt: 158 m s.l.m.). The available set of data start at 01/01/1951 up to 21/31/2008 in manual detection (station code RM2410) and from 05/31/2007 up today in automatic detection (station code RT137).

The temperature analysis was based on the data available on Ascoli Piceno weather station, located west from Offida at about 13,0 km far (Lat: 42.8600; Lon: 13.5902; Alt: 124 m s.l.m.). The available set of data start from 01/01/1957 up to 11/03/2014 in manual detection (station code RM2390) and from 04/17/2013 up today in automatic detection (station code RT25).

Precipitation, trends and extreme indices

All the precipitation trends decrease both annually and in all seasons, except for the autumn that showing moderate increase. The meteorological declines are greater in summer and winter and moderate in spring. However, all the annual and seasonal variations are not statistically significant (p_value > 0,05).

As the precipitation trends, even the extreme precipitation indices are not statistically significant. Considering the slope values for the individual variables analysed, is therefore observed trends well defined only for the R95p (Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period) that significantly increase over 1 mm every two years. The RX1day, SDII, CDD and R20 increases are very mild and concentrated in the last fifteen for the last two variables.

Therefore is possible to say that, in the analyzed period (1961-2015) and especially in the last twenty years, it observed an intensification in the cumulative and frequency of precipitation events, although not characterized by exceptional cumulative quantities, especially for short and intense phenomena.

Temperature, trends and extreme indices

About mean, minimum and maximum temperature variations, all trends are statistically significant. The obtained results show an increase both for year and for seasons. The average annual increases are about 0.021°C for the minimum temperature and 0.040°C for the maximum temperatures, while the annual mean temperature increases are equal to 0.032°C. In the period 1961-2015, the average increase in temperatures stands at 1.8°C up to 2.0°C in the maximum values and to about 1.2°C in the minimum.

The extreme indices of the minimum and maximum temperature are generally statistically significant, with p_value often clearly less than 0.05. The analysis of individual parameters show

that the frost days index (FD0 – with minimum temperature <0°C) has a slight decrease, about 0.05 days/year equal to 3 days in the whole analysed period.

Absolutely comparable in trend and intensity appears to be the reduction of days and cold nights.

The increases in the number of very hot days (SU30 – about 0.8 days/year) and hot days (SU25, 1 day every two years) appear to be much more significant. The increase in number of heat waves appears to be also important.

Abstract in Italiano

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 riguarda due aspetti fondamentali:

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

Il Comune di Offida, data l'assenza, nel territorio comunale, di una stazione meteorologica di rilevamento con disponibilità di una serie completa e continua, ha utilizzato dati di stazioni limitrofe rappresentative del contesto climatico comunale. Per le precipitazioni, la stazione di riferimento utilizzata è quella di Spinetoli (AP), ubicata a sud-est rispetto ad Offida e distante circa 8,0 km (Lat.: 42.8901; Lon: 13.7700; Alt: 158 m s.l.m.). In essa la serie di dati disponibile va dal 01/01/1951 al 31/12/2008, in registrazione manuale (codice RM2410) e dal 31/05/2007 ad oggi in registrazione automatica (codice RT137).

Per le temperature ci si è basati sui dati disponibili alla stazione di Ascoli Piceno, ubicata a sud-ovest rispetto ad Offida ad una distanza di circa 13,0 km (Lat: 42.8600; Lon: 13.5902; Alt: 124 m s.l.m.). In essa la serie di dati disponibile va dal 01/01/1957 al 03/11/2014, in registrazione manuale (codice RM2390) e dal 17/04/2013 ad oggi in registrazione automatica (codice RT25).

Precipitazioni, trend e indici estremi

I trend delle precipitazioni tendono a diminuire sia annualmente che in tutte le stagioni, eccezion fatta per quella autunnale, che mostra un moderato incremento. I cali meteorici sono maggiori nella stagione estiva ed invernale e limitati in quella primaverile. Tuttavia, occorre far presente che i trend appena citati non sono statisticamente significativi (p_value > 0,05).

Allo stesso modo, gli indici estremi delle precipitazioni non sono significativi statisticamente. Considerando gli "slope" relativi alle singole variabili analizzate, si osservano dunque tendenze complessivamente ben definite per quanto riguarda l'indice di precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) che aumenta significativamente oltre 1 mm ogni due anni. Gli incrementi relativi al RX1day; SDII, CDD e soprattutto R20 sono più blandi e, relativamente alle due ultime variabili, concentrati nell'ultimo quindicennio.

Dunque si potrebbe sinteticamente concludere che, nell'arco di tempo considerato ed in particolare nell'ultimo ventennio, si osserva una intensificazione nelle cumulate e nella frequenza degli eventi di precipitazione, anche se non caratterizzati da eccezionalità nelle quantità cumulate, specie per ciò che concerne i fenomeni brevi ed intensi.

Temperature, trend e indici estremi

In merito ai trend delle temperature medie, minime e massime, i risultati ottenuti mostrano un incremento sia per le stagioni che per l'anno, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui variano tra 0.021°C per i valori medi minimi e 0.040°C per quelli massimi, con una media annua pari a circa 0.032°C. Nel periodo 1961-2015, l'aumento medio delle temperature si attesta su circa1,8°C sino a sfiorare i 2°C nei valori massimi e "scendere" a circa 1,2 °C in quelli minimi.

Gli indici estremi relativi alle temperature minime e massime risultano generalmente statisticamente significative, con valori p_value spesso nettamente < 0,05. L'analisi dei trend relativi ai singoli parametri mostra che l'indice giorni di gelo (FD0 - con temperature minime < 0 °C) presenta un lieve calo, di circa 0.05 giorni/anno pari a circa 3 giorni nell'intero periodo. Assolutamente paragonabile in tendenza ed intensità risulta essere il decremento dei giorni e delle notti fredde. Molto più significativi risultano essere gli incrementi del numero dei giorni molto caldi (SU 30 – circa 0,8 giorni anno) e caldi (SU 25, 1 giorno ogni 2 anni). Altrettanto importante risulta essere l'incremento quantitativo delle ondate di calore.

1. Introduction

1.1 Life Sec Adapt project objective

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: definition of a climate baseline at local level

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. Comune di Offida: inquadramento geografico e climatico

Il territorio del Comune di Offida (AP) ha una superficie di 4.922 ettari ed è situato nella fascia collinare ad una distanza di circa 15 chilometri dal mare e 30 chilometri dalla dorsale umbro-marchigiana. Il centro abitato funge da spartiacque fra il bacino idrografico del Torrente Tesino, a nord e quello del Fiume Tronto a sud (Figg. 1.1 e 1.2). La maggior parte del territorio è compresa tra le quote 150,0 e 300,0 m.s.l.m; il Colle Tafone, con una quota di 402,0 m sl.m., rappresenta il punto più elevato, mentre la zona più depressa è ubicata in località S. Maria Goretti (valle del T. Tesino) con una quota di 115,0 m.s.l.m.

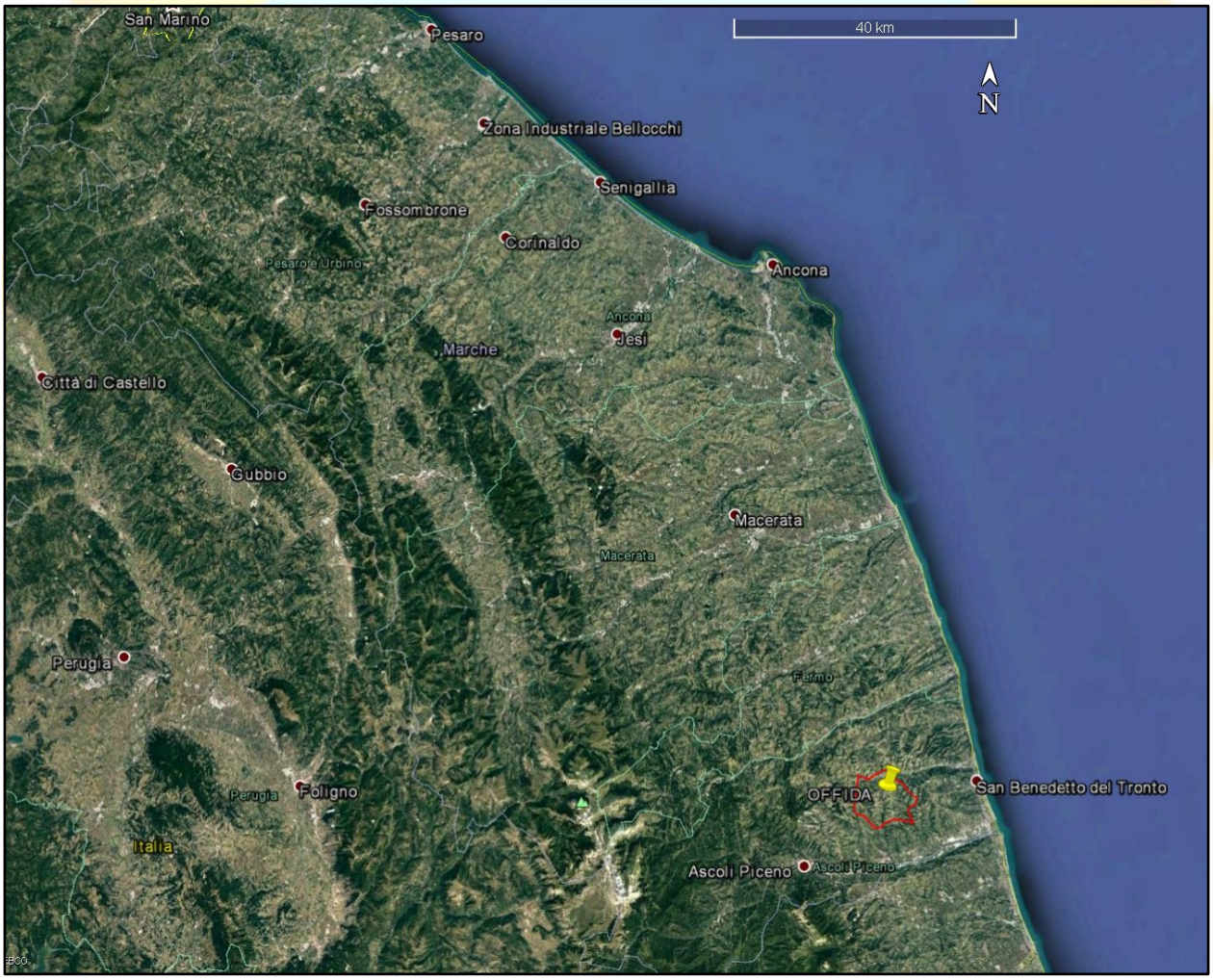


Figura 1.1 – Inquadramento territoriale del Comune di Offida

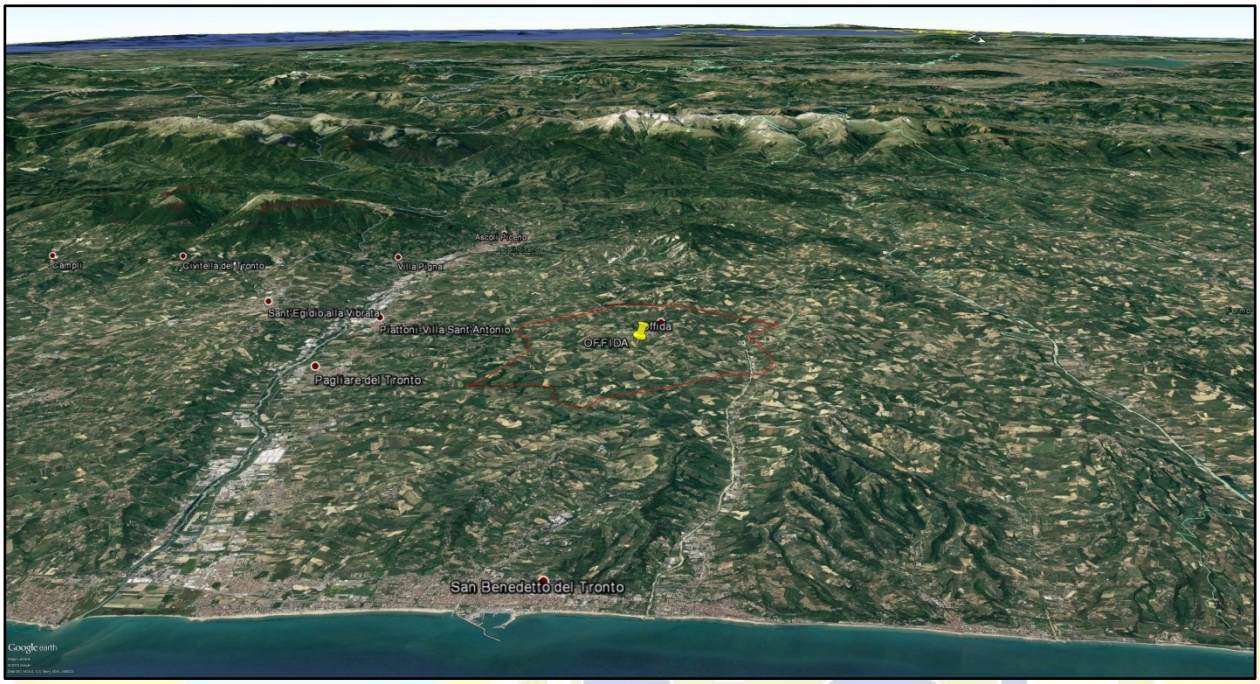


Figura 1.2 - Inquadramento territoriale del Comune di Offida

Il clima è generalmente temperato e, secondo quanto previsto nella classificazione di Koppen (Fig. 1.3), è assimilabile al tipo “temperato sublitoraneo” caratteristico delle zone collinari centrali delle Marche meridionali e di quelle litoranee comprese fra Senigallia (AN) e San Benedetto del Tronto (AP).

La suddetta tipologia climatica è di transizione tra un clima propriamente “mediterraneo” e quello “subcontinentale” (o clima temperato piovoso).

Nel complesso la temperatura media annuale è pari a 15,2°C (media invernale di 11,7°C, media primaverile di 19,2°C, media estiva di 30,3°C e media autunnale di 21,5°C), con una temperatura media minima di 9,7°C e una media massima di 20,6°C. le temperature più basse si registrano in dicembre gennaio e febbraio, mentre le più alte in luglio e agosto (Tab. 1.1).

Le precipitazioni medie annuali sono comprese fra 600 e 800 mm (valore medio periodo 1961-2015 par a 684,25 mm)e i giorni nevosi per anno sono mediamente compresi fra 3-6 (Tab. 1.1).

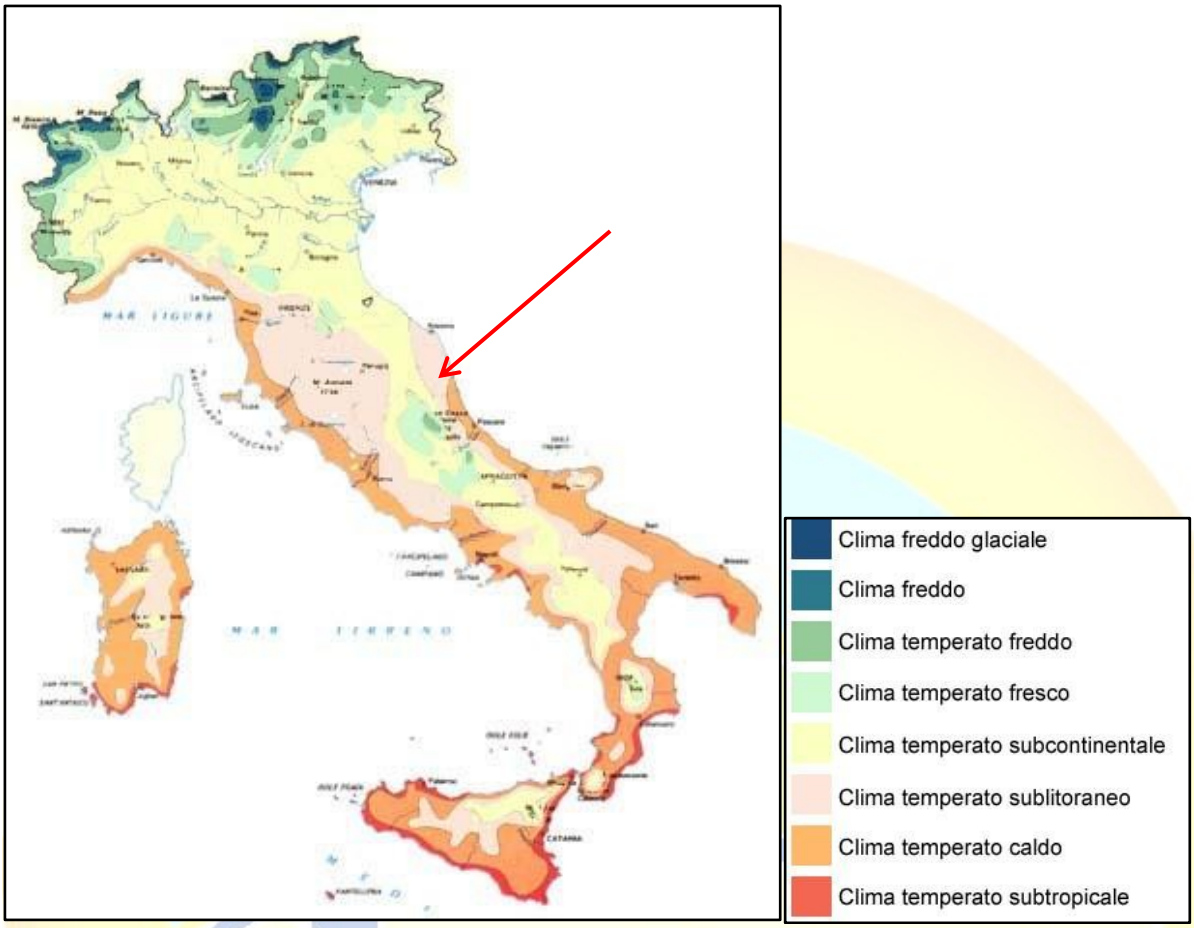


Figura 1.3 - Inquadramento dei climi italiani nella classificazione del Köppen (M. Pinna – 1969).

VALORI MEDI DI TEMPERATURA E PRECIPITAZIONI (Periodo 1961-2015)				
Mese	**Media Pr (mm)**	**Medi Tx (°C)**	**Media Tn (°C)**	**Media Tm (°C)**
Gennaio	51,49	11,0	2,2	6,6
Febbraio	47,15	12,1	2,8	7,5
Marzo	57,65	15,2	5,0	10,1
Aprile	58,51	18,7	7,8	13,3
Maggio	43,73	23,6	11,9	17,8
Giugno	58,92	28,1	15,6	21,8
Luglio	41,14	31,4	18,1	24,8
Agosto	45,18	31,4	17,9	24,6
Settembre	65,30	26,8	14,8	20,8
Ottobre	70,50	21,6	11,1	16,4
Novembre	69,58	16,0	6,6	11,3
Dicembre	75,09	11,8	2,2	7,5
ANNUALE	**684,25**	**20,6**	**9,7**	**15,2**

Tabella 1.1

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

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 dataset originale, è stata derivata dalla media aritmetica, tra temperatura 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. La validazione delle serie climatiche storiche rappresenta un processo propedeutico ed essenziale ai fini di una coerente analisi climatologica.

Nello specifico, per il Comune di Offida, data l'assenza, nel territorio comunale, di una stazione meteorologica di rilevamento con disponibilità di una serie completa e continua, sono stati utilizzati dati di stazioni limitrofe.

Per quanto riguarda le precipitazioni, la stazione di riferimento utilizzata è quella di Spinetoli (AP), ubicata a sud-est rispetto ad Offida e distante circa 8,0 km (Lat.: 42.8901; Lon: 13.7700; Alt: 158 m s.l.m.). In essa la serie di dati disponibile va dal 01/01/1951 al 31/12/2008, in registrazione manuale (codice RM2410) e dal 31/05/2007 ad oggi in registrazione automatica (codice RT137).

Mentre per l'analisi delle temperature ci si è basati sui dati disponibili alla stazione di Ascoli Piceno, ubicata a sud-ovest rispetto ad Offida ad una distanza di circa 13,0 km (Lat: 42.8600; Lon: 13.5902; Alt: 124 m s.l.m.). In essa la serie di dati disponibile va dal 01/01/1957 al 03/11/2014, in registrazione manuale (codice RM2390) e dal 17/04/2013 ad oggi in registrazione automatica (codice RT25).

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). Il CLINO (CLImate NOrmals) rappresenta le condizioni di riferimento, normali, della climatologia locale, sulle quali confrontare il singolo valore annuale e stagionale e derivarne un andamento (trend) che caratterizza i 55 anni di analisi. Da tale confronto si ottiene un valore di anomalia annuale e stagionale. L'anomalia per le precipitazioni riporta lo scostamento percentuale tra l'accumulo annuale e stagionale e quello medio del CLINO; per le temperature, lo scostamento in [°C] è riferito alle medie annuali e 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 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.

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

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

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

Valori positivi di Tau (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 da un p_value 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 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 avere 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 (percentili alle code della distribuzione). Per le precipitazioni, gli indici sono mirati ad identificare un potenziale cambiamento del regime delle precipitazioni, con particolare attenzione alla variazione di frequenza di eventi estremi (che cadono nei primi o ultimi 10 percentili della distribuzione del trentennio di riferimento), agli accumuli annuali derivanti da eventi precipitativi estremi e variazione della lunghezza di periodi secchi. Il pacchetto del software R "climpact2" (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 i coefficienti di slope e deviazione standard del modello di regressione lineare applicato e il p_value, anche in questo caso utile per definire la significatività statistica del trend riferito al determinato indice (vedi tabelle capitolo 5).

4. Trend climatici

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, H0, è che la serie di valori non contenga un trend significativo - considerando un p_value di 0,05 - tale test è stato applicato previa verifica di assenza di serialità nella successione di valori da analizzare (Von Storch 1995; Zhang et al. 2001). Per valutare il segno del trend si utilizza l'indice Tau, per cui in presenza di un tau positivo il trend sarà positivo e viceversa nel caso di un tau negativo. Infine, per quantificare i trend lineari, in termini di pendenza della retta (tasso di variazione), si è fatto ricorso al metodo Thiel-Sen slope.

4.1 Precipitazioni

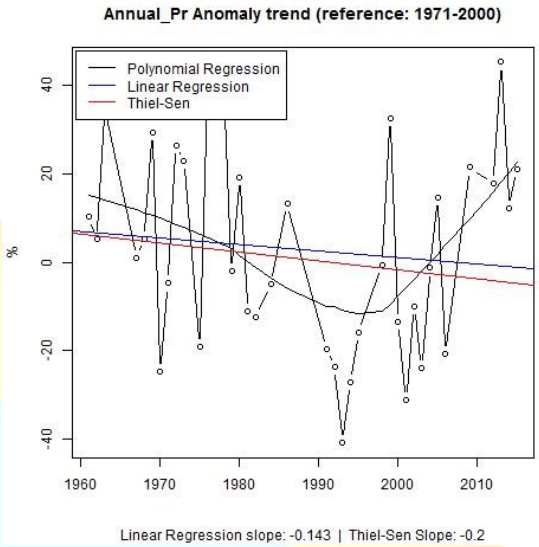
I risultati dell'analisi statistica appena sopra proposta e condotta sono riportati nella tabella 4.1 qui di seguito riportata:

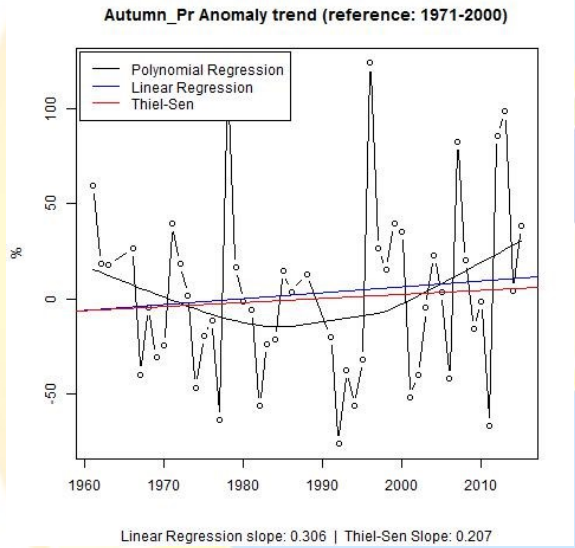
Periodi	Mann-Kendall – Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Sen's slope (Yue - Pilon method) Trend
Annual_Pr	-0.083	0.474	-0.200
Autumn_Pr	0.051	0.610	0.207
Spring_Pr	-0.0021	0.993	-0.017
Summer_Pr	-0.129	0.189	-0.500
Winter_Pr	-0.116	0.276	-0.454

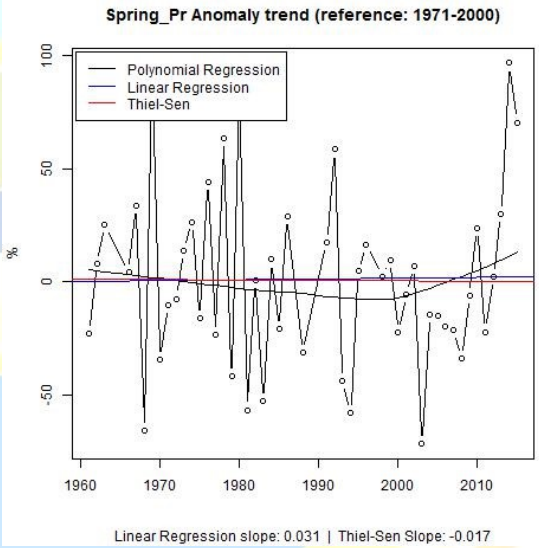
Tabella 4.1

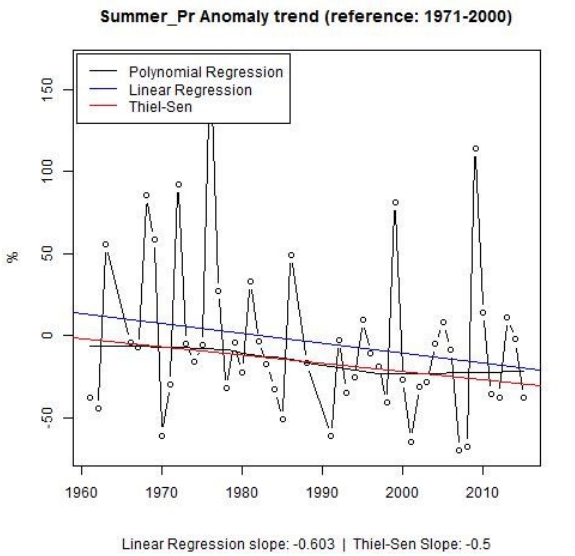
Dalla disamina della tabella si evince che le precipitazioni tendono ad diminuire in tutte le stagioni, eccezion fatta per quella autunnale, che mostra un moderato incremento. I cali meteorici sono maggiori nella stagione estiva ed invernale e limitati in quella primaverile. Tuttavia, risulta evidente come i trend appena citati non siano statisticamente significativi (p_value sempre > 0,05).

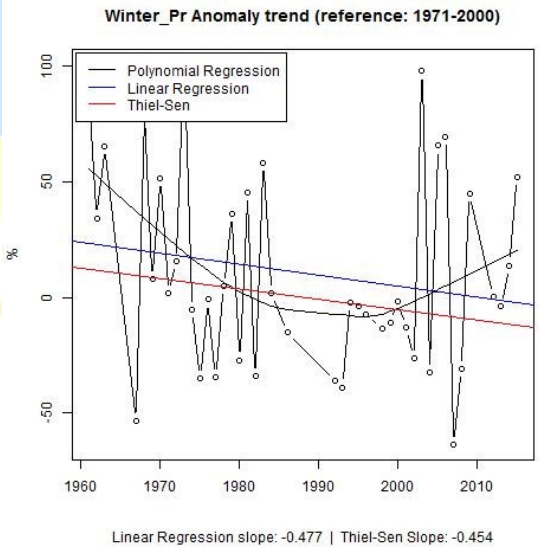
Figura 4.1 - Trend precipitazioni:
Dall'analisi della figura 4.1, risulta evidente che modeste siano le differenze tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (linear regression) e non parametrico (Thiel-Sen slope) ad eccezione fatta per l'anno che mostra un segnale divergente; I segnali stagionali sono molto differenti tra di loro. Le polinomiali mostrano un minimo che si pone poco prima del 2000 per l'anno, per l'inverno per l'estate e la primavera, poco prima del 1990 per l'autunno. Il segnale primaverile evidenzia un'ondulazione ad alta frequenza tra il 1975 ed il 1995.











4.2 Temperature

Dalla disamina della tabella 4.2 il segnale termico relativo al periodo oggetto dello studio - calcolato sull'anomalia relativa al CLINO 1971 – 2000 - mostra un incremento sia per le stagioni che per l'anno, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui variano tra 0.021°C per i valori medi minimi e 0.040°C per quelli massimi, con una media annua pari a circa 0.032°C.

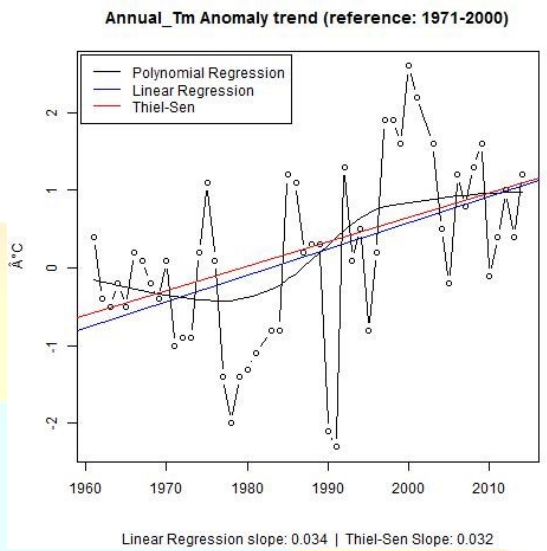
Se si considera l'intero periodo oggetto dello studio (1961-2015), l'aumento medio delle temperature si attesta su circa1,8°C siona a sfiorare i 2°C nei valori massimi e "scendere" a circa 1,2 °C in quelli minimi. La significatività statistica calcolata è comprovata per tutte e quattro le stagioni e per l'intero anno (p_value sempre < 0,05), con valori spesso prossimi a zero, a conferma del fatto che la tendenza evidenziata è assolutamente certa. Soltanto per la Tm invernale e la Tx autunnale si hanno valori "*border line*" e per le Tn invernali valori leggermente oltra la soglia di 0,05.

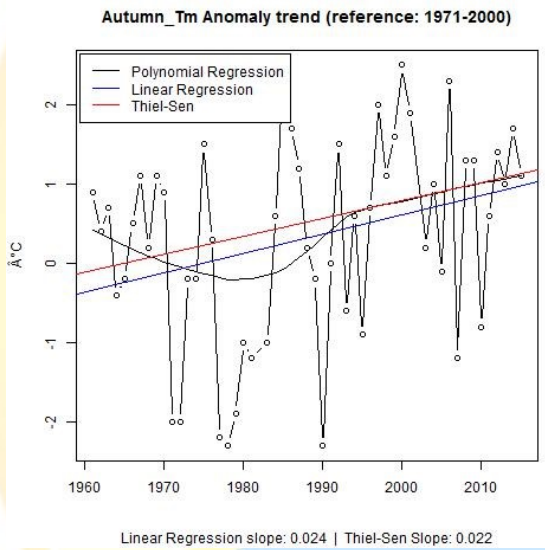
Periodi	Mann-Kendall – Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Sen's slope (Yue - Pilon method) Trend
Annual_Tm	0.336	0.001	0.032
Autumn_Tm	0.218	0.023	0.022
Spring_Tm	0.271	0.005	0.033
Summer_Tm	0.340	0.000	0.049
Winter_Tm	0.186	0.056	0.021
Annual_Tn	0.275	0.005	0.021
Autumn_Tn	0.208	0.030	0.020
Spring_Tn	0.274	0.004	0.025
Summer_Tn	0.321	0.001	0.033
Winter_Tn	0.138	0.157	0.014
Annual_Tx	0.316	0.001	0.040
Autumn_Tx	0.180	0.060	0.025
Spring_Tx	0.259	0.007	0.040
Summer_Tx	0.340	0.000	0.065
Winter_Tx	0.201	0.038	0.027

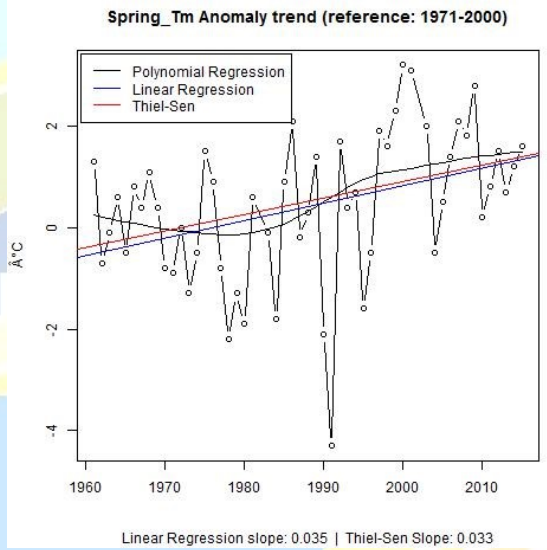
Tabella 4.2

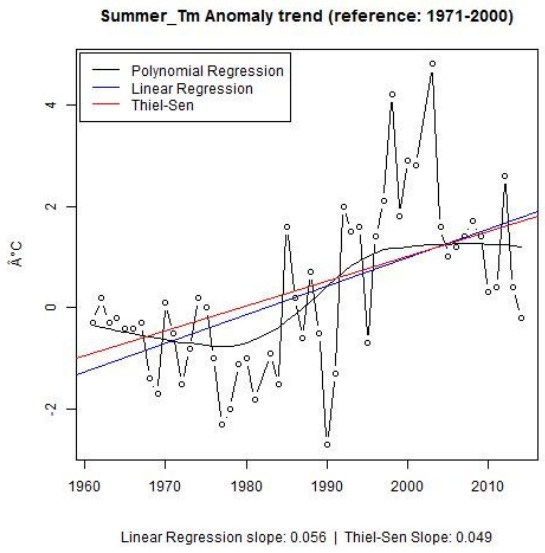
Figura 4.2 - Trend Temperature Medie:

Per quanto riguarda il trend delle temperature medie, dall'analisi della figura 4b.1, si osserva una similarità o spesso un identità nel comportamento delle rette interpolanti come avviene per la stagione invernale. Il segnale della polinomiale evidenzia invece comportamenti molto differenti tra I vari periodi: per l'anno è evidente un flesso a metà degli anni '90, con un conseguente comportamento asintotico; per l'autunno, l'estate e la primavera è evidente un minimo intorno al 1980 con un successivo incremento delle temperature, più contrastato in estate. Infine, per l'inverno, si osserva un leggero incremento termico piuttosto costante ed omogeneo.









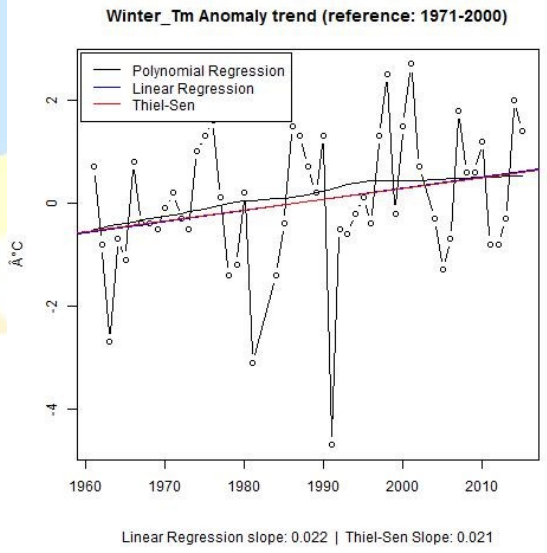
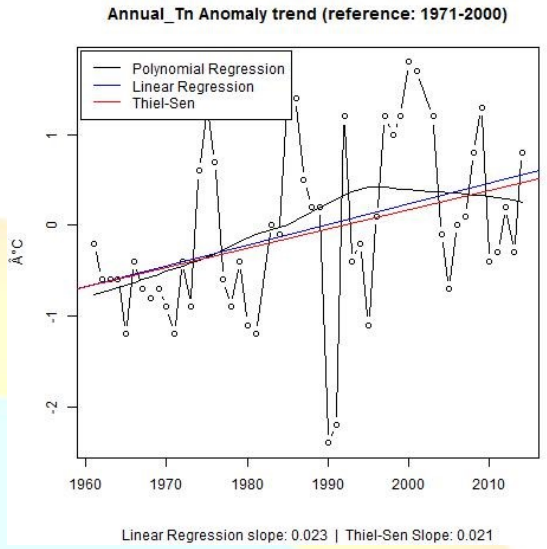
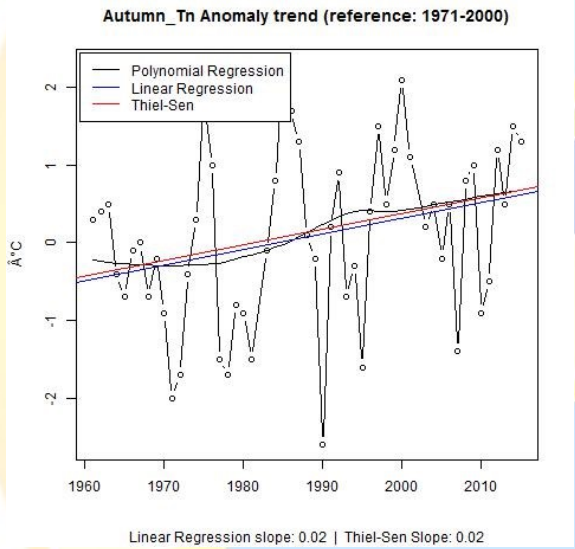
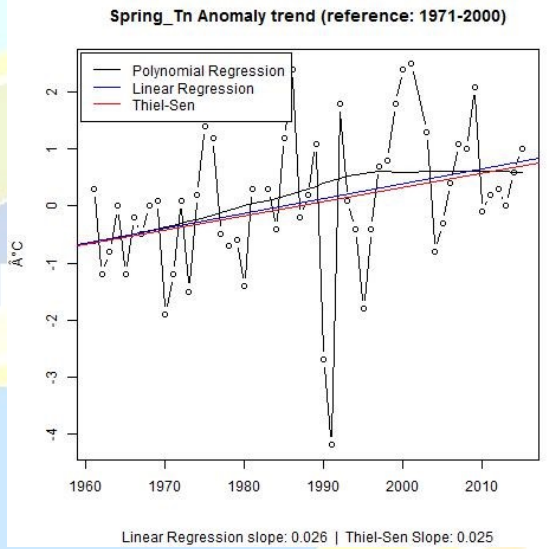
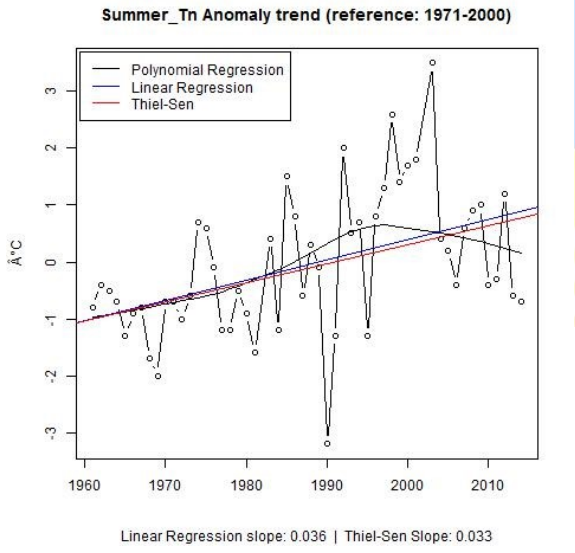


Figura 4.3 - Trend Temperature Minime:
Per le Tn, si osserva un complessivo incremento dei valori termici. Il comportamento dell'interpolante polinomiale evidenzia per l'anno un massimo nella prima metà degli anni '90, causato da numerose annate precedenti "sopramedia" e da un successivo intenso decremento termico, con forti outlayers negative nell'ultimo quinquennio. Tale segnale risulta essere simile nella stagione estiva e, anche se attenuato, in quella primaverile (che pero presenta un lieve calo termico nell'ultimo quinquennio) e secondariamente In quella autunnale - che evidenzia comunque nell'ultimo decennio numerosi segnali oltre media. L'inverno presenta un incremento delle temperature sino all'inizio degli anni 80, seguito da una successiva diminuzione.









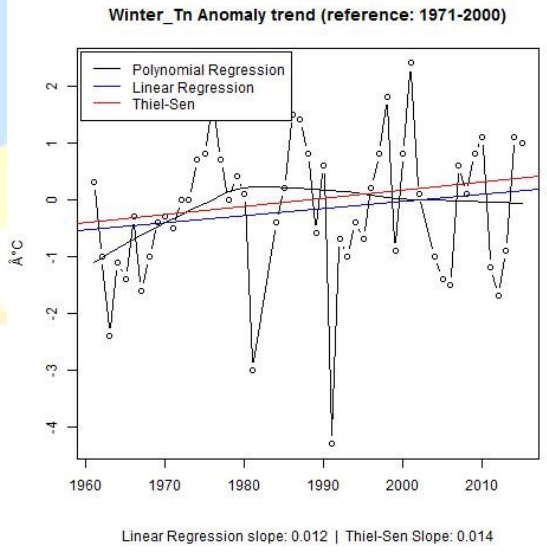
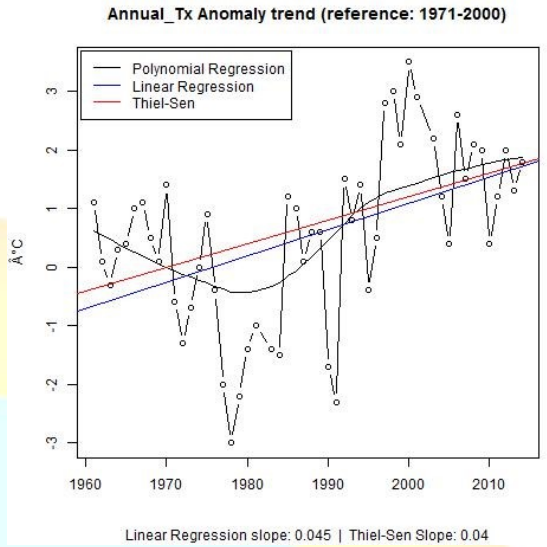
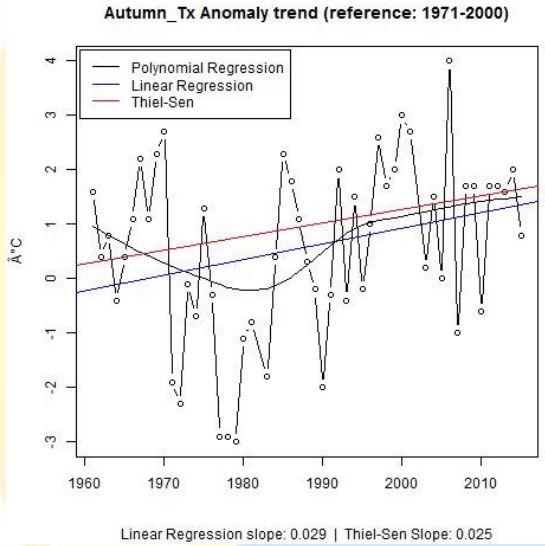
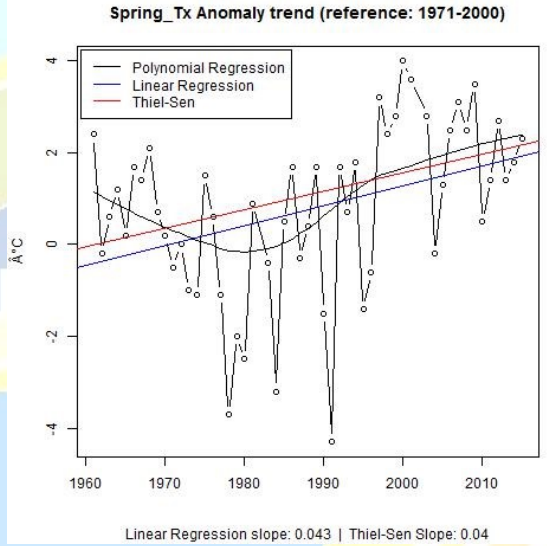


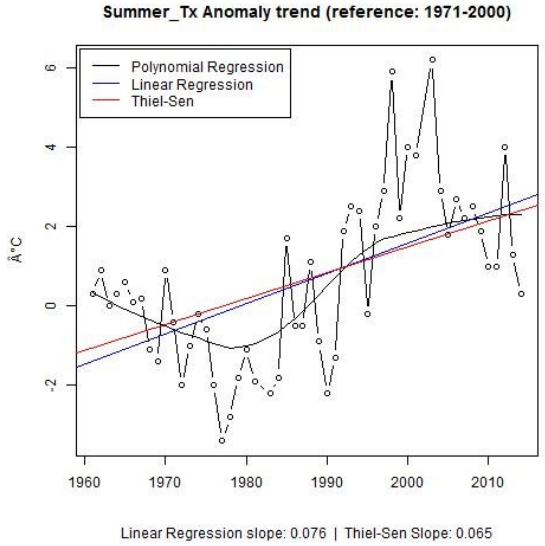
Figura 4.4 - Trend Temperature Massime:

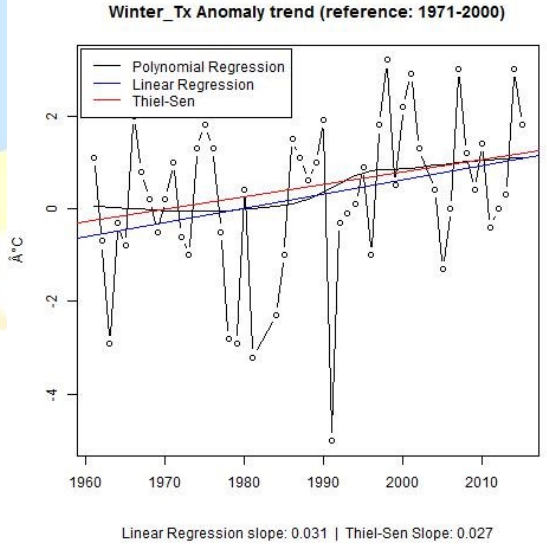
Dall'analisi della figura 4.4, si osserva che esiste un evidente, spesso non trascurabile, scarto tra il comportamento delle due interpolanti lineari , in particolare per il segnale autunnale. Dal comportamento della polinomiale si evidenzia per l'anno, e tutte le stagioni un minimo all'inizio degli anni 80, seguito da un repentino incremento termico.
Evidente, per tutti i periodi, la tendenza asintotica del segnale negli ultimi anni, a segnare un limitato incremento.











5. Indici climatici estremi

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

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

Il set di 13 indici, elaborato con il pacchetto del software R "climpact2" , è suddiviso in indici per la precipitazione e la temperatura; sembrerebbero sufficienti a quantificare l'entità del cambiamento climatico in atto alle nostra 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 "climpact2" sono:

Station:	Ascoli Piceno (Temperature)	Spinetoli (Precipitazioni)
Series period:	1961 - 2015	1961 - 2015
Latitude:	42.8600	42.8901
Longitude:	13.5902	13.7700
Base Period:	1971 – 2000	1971 – 2000
Elevation:	124 m s.l.m.	158 m s.l.m.

Tabella 5.1

5.1 Precipitazioni

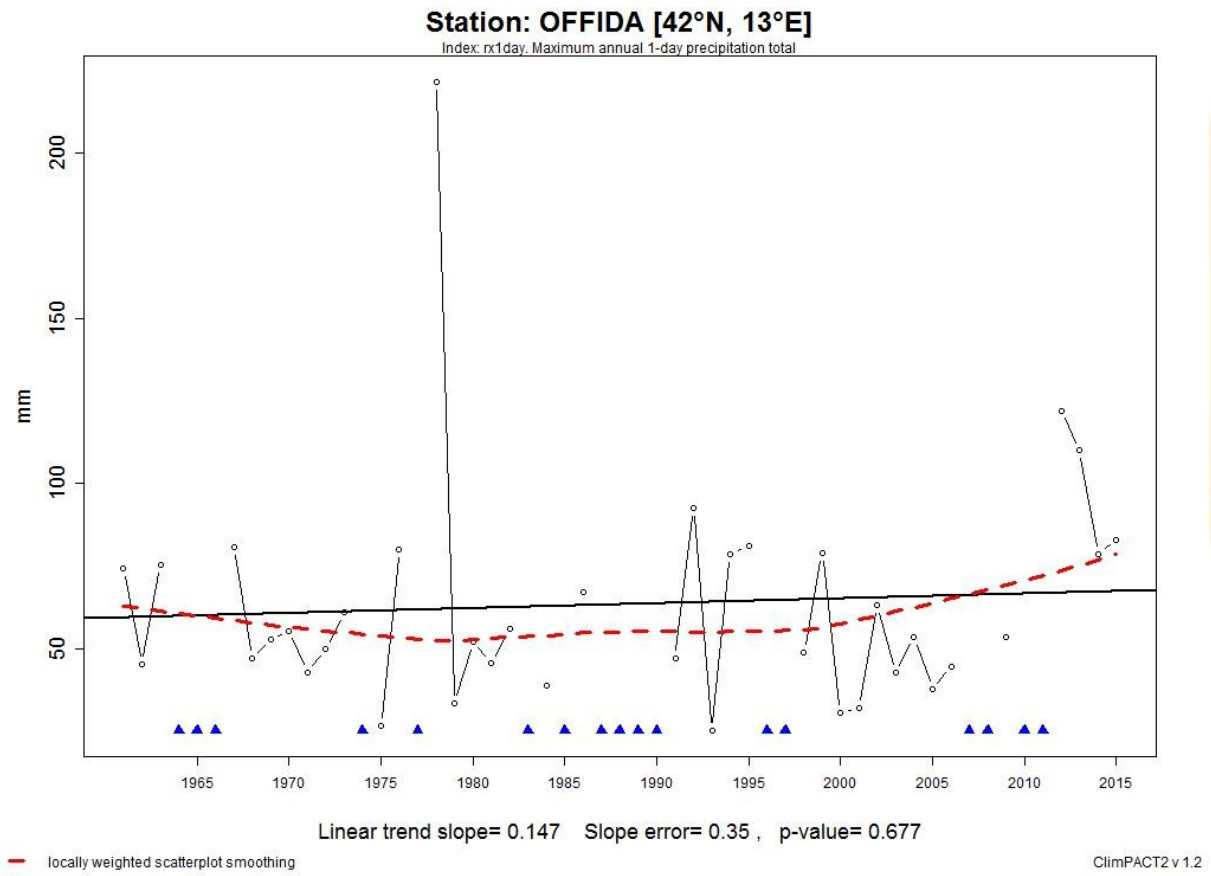
Index	Definition	Units	Indices	Slope	STD of Slope	P_Value
RX1day (Max 1-day precipitation amount)	Maximum value of 1-day precipitation	mm	rx1day	0.147	0.350	0.677
R95p (Very wet days)	Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period	mm	r95p	0.568	1.142	0.622
SDII (Simple Daily Intensity Index)	Annual total precipitation divided by the number of wet days (defined as daily PRCP ≥ 1.0 mm) in the year	mm/day	sdii	0.012	0.015	0.416
CDD (Consecutive Dry Days)	Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm	mm	cdd	0.058	0.061	0.349
R20 (Very heavy precipitation days)	Annual count of days when daily PRCP ≥ 20 mm	days	r20mm	0.008	0.037	0.840

Tabella 5.2

L'evidenza relativa ai trend delle precipitazioni a non essere statisticamente significativi vengono confermati anche relativamente agli indici estremi appena evidenziati (p_value compresi tra 0.35 e 0.84 – tab.5.2). Occorre sottolineare che, per quanto concerne il quadro meteorico, il segnale è pesantemente influenzato dalle numerose lacune esistenti, solo in parte sanate nel contesto annuale, attraverso il ricorso a metodi di recupero dati.

Considerando gli "slope" relativi alle singole variabili analizzate, si osservano dunque tendenze complessivamente ben definite per quanto riguarda l'indice di precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) che aumenta significativamente – oltre 1 mm ogni due anni; gli incrementi relativi al RX1day; SDII, CDD e soprattutto R20 sono più blandi e, relativamente alle due ultime variabili, concentrati nell'ultimo quindicennio.

Dunque si potrebbe sinteticamente concludere che, nell'arco di tempo considerato ed in particolare nell'ultimo ventennio, si osserva una intensificazione nelle cumulate e nella frequenza degli eventi di precipitazione, anche se non caratterizzati da eccezionalità nelle quantità cumulate, specie per ciò che concerne i fenomeni brevi ed intensi. Ciò evidenzia come la risposta al forcing antropogenico delle precipitazioni sia differente da quello delle temperature che, al contrario, mostrano decisi incrementi. Inoltre la non perfetta corrispondenza tra i trend relativi alle precipitazioni stagionali ed annuali e i corrispettivi indici di precipitazione fanno ipotizzare che già ora e ancor più in futuro, le precipitazioni estreme potranno variare in maniera anche significativa rispetto ai valori cumulati medi (Giorgi and Lionello 2008).

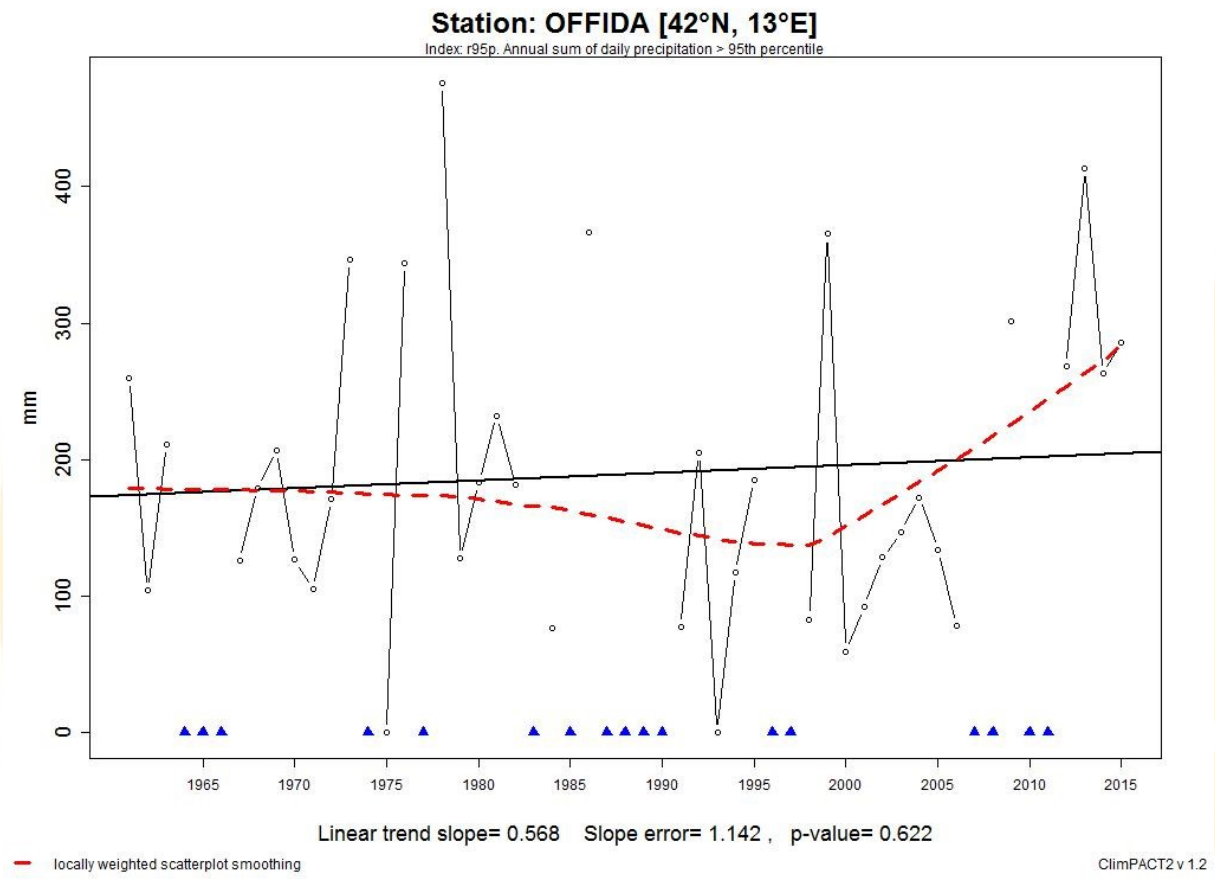


RX1day (Max 1-day precipitation amount)

Il trend relativo all'indice precipitazioni massime giornaliere annue mostra modeste variazioni; - dell'ordine di 0,15 giorni/anno pari a circa 8 mm nell'intero periodo di osservazione, pari al 12% circa del totale. L'outlayer più importante si è verificato nel 1977 – circa 225 mm - - al di la di

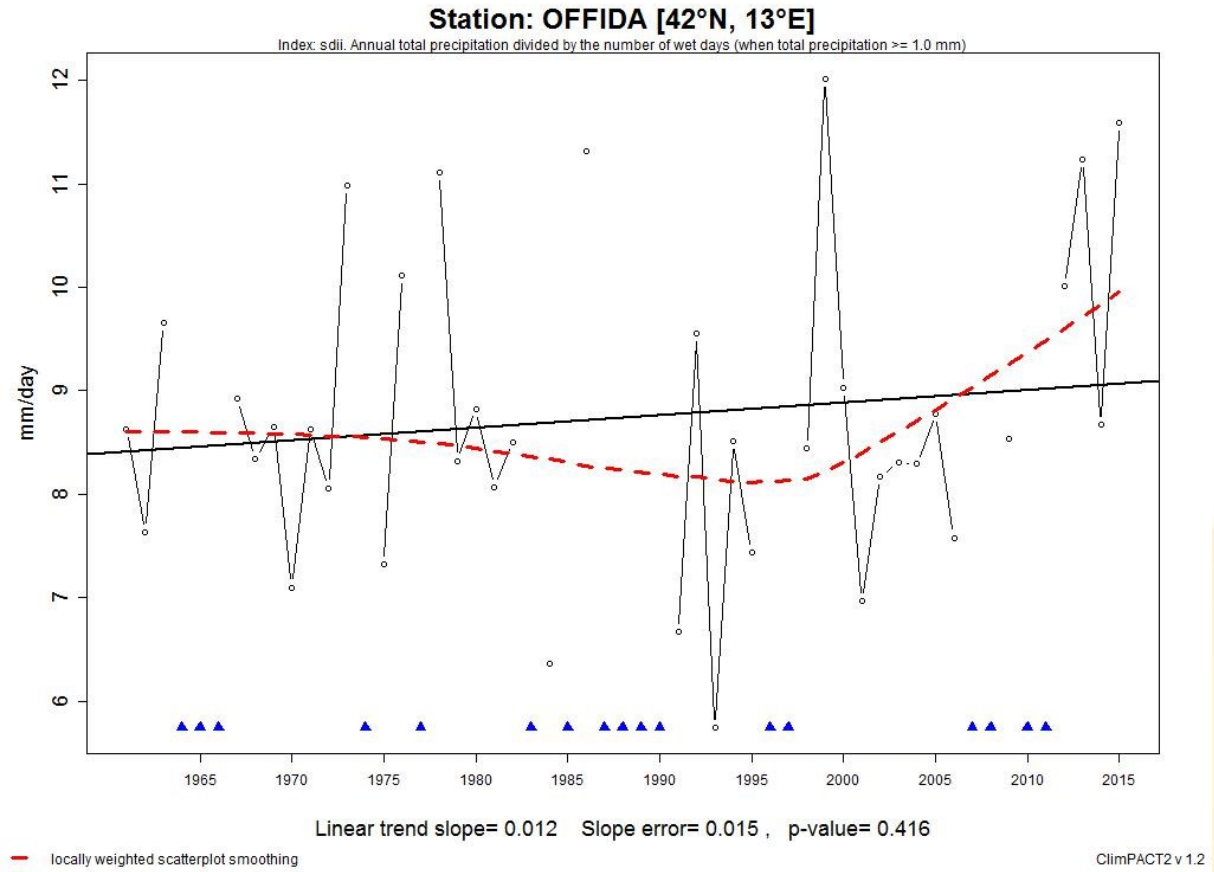
questi due eventi non si sono mai superati i 100 mm/die, tranne che nel 2012 – 110 mm circa. A livello generale si osserva un evidente incremento del segnale a partire dal 2000.

Tale evidenza sottolinea che le fenomenologie derivanti dall'evoluzione di fronti a carattere caldo sono recentemente un poco più incisive nonostante che il passaggio di tali perturbazioni avvenga in maniera generalmente più rapida.



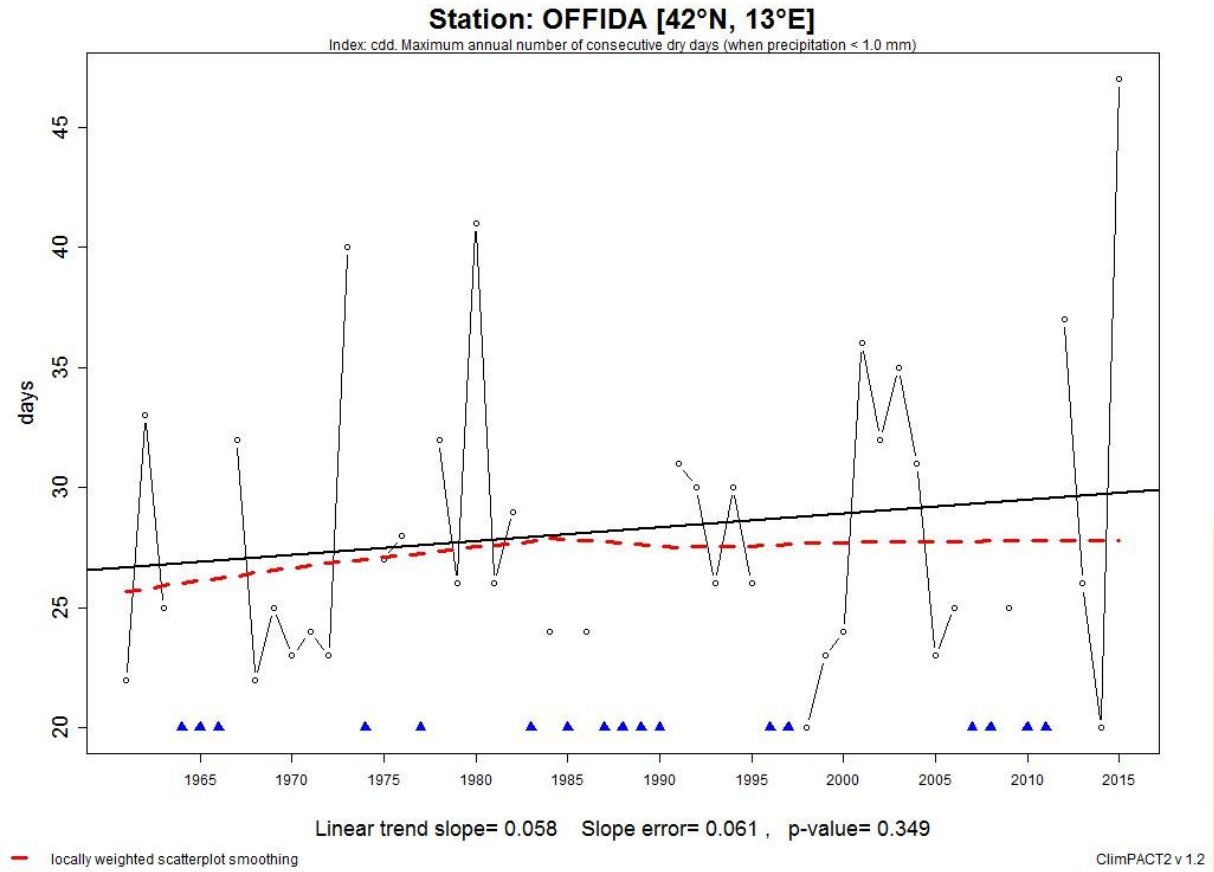
R95p (Very wet days)

Questo indice (indice di precipitazione nei giorni molto piovosi) ci quantifica l'abbondanza delle precipitazioni cumulate nei giorni aventi precipitazioni superiori al 95 percentile . Rispetto al trend dei giorni più piovosi dell'anno, si nota una tendenza più incisiva verso l'incremento (oltre 1 mm ogni 2 anni). Il segnale è complessivamente in aumento pur essendo molto complesso. Le cumulate più imponenti – superiori ai 300 mm - si registrano con una ritmicità piuttosto regolare (1973, 1977 (oltre 450 mm), 1999, 2013).



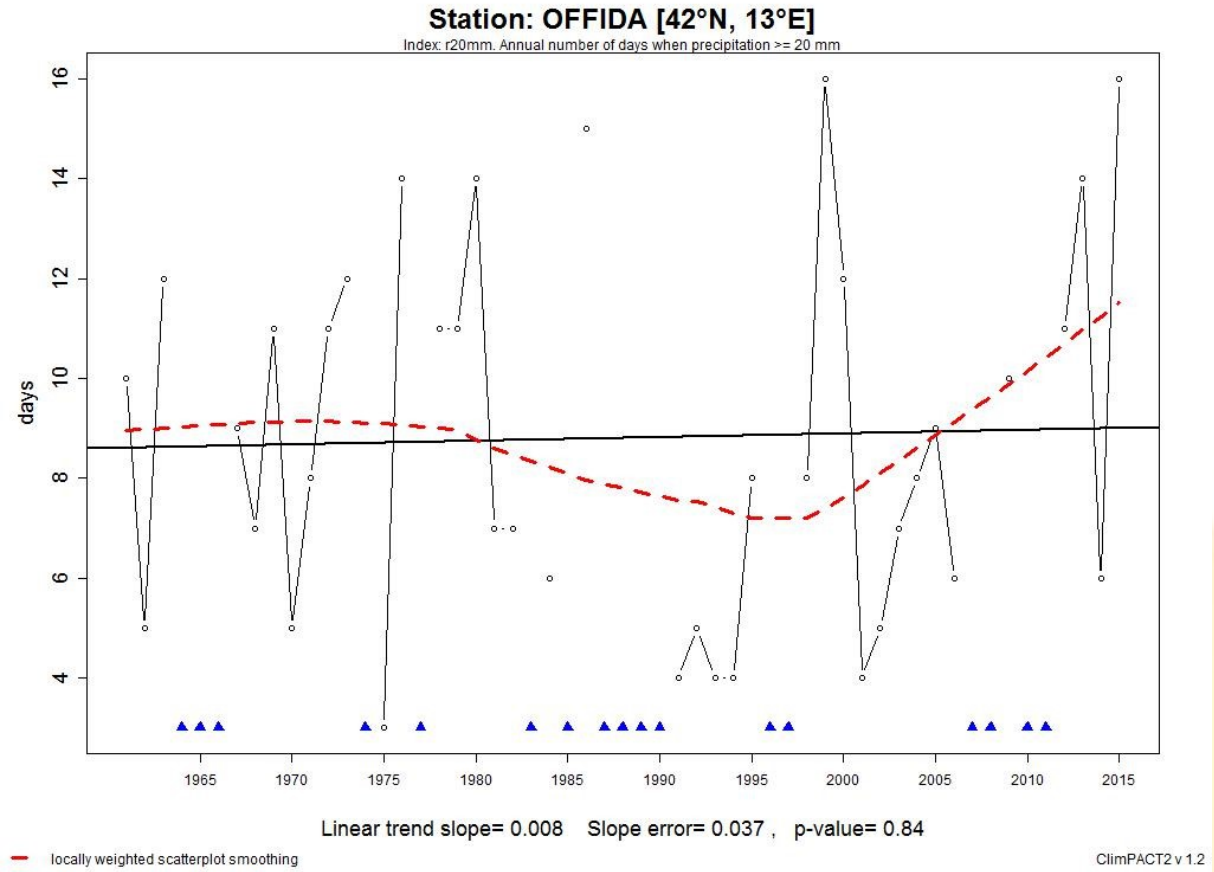
SDII (Simple Daily Intensity Index)

Questo indice di intensità di pioggia quantifica l'intensità meteorica media giornaliera. Il trend è evidentemente in lievissimo aumento, di circa 0.012 mm/anno, pari a meno di 1 mm nell'intero periodo. Si passa infatti da un valore medio di 8,4 mm/die a circa 9 mm. Pertanto, l'aumento percentuale è quantificabile nell' 8% circa. Le intensità media più elevate tendono a verificarsi nell'ultimo ventennio - sino a circa 12 mm circa negli anni 1999, 2013 e 2015 – ed anche in questo caso, come per il parametro R95p – si osserva un abbozzo di periodicità avente lunghezza d'onda di 15 anni.



CDD (Consecutive Dry Days)

Questo indice dei giorni non piovosi consecutivi quantifica la lunghezza massima annuale dei periodi "secchi" e si rivela un ottimo indicatore del cambiamento climatico in atto relativamente al bacino mediterraneo. Il segnale mostra un contenuto incremento, quantificabile in 0.06 giorni l'anno (pari a poco più di 3 giorni per l'intero periodo). Si passa da fasi siccitose estese temporalmente tra circa 26,5 giorni negli anni '60 e 29,5 negli ultimi anni. Moderata risulta essere la variabilità intrannuale - che però tende ad aumentare nell'ultimo quinquennio - con l'outlayer principale – esteso per oltre 45 giorni – proprio nel 2015 (tra la fine di giugno e la meta di agosto).



R20 (Very heavy precipitation days)

Tale indice quantifica la frequenza di giorni con precipitazioni abbondanti, >20 mm. La tendenza complessiva mostra un impercettibile incremento del segnale – quantificabile in circa 0.008 giorni/anno, pari a circa 0,5 giorni per l'intero periodo. Si passa infatti dai 8,3 giorni ad inizio periodo di osservazione a poco più di 8,7 nel periodo attuale. La frequenza risulta pero in significativo aumento nell'ultimo ventennio, come provato dal comportamento dell'interpolante polinomiale. E' probabile, incrociando tale informazione con quella relativa all'intensità media giornaliera – anche essa in lieve aumento - che tale comportamento delle due variabili possa essere dovuto principalmente all'incremento dei fenomeni brevi e intensi.

5.2 Temperature

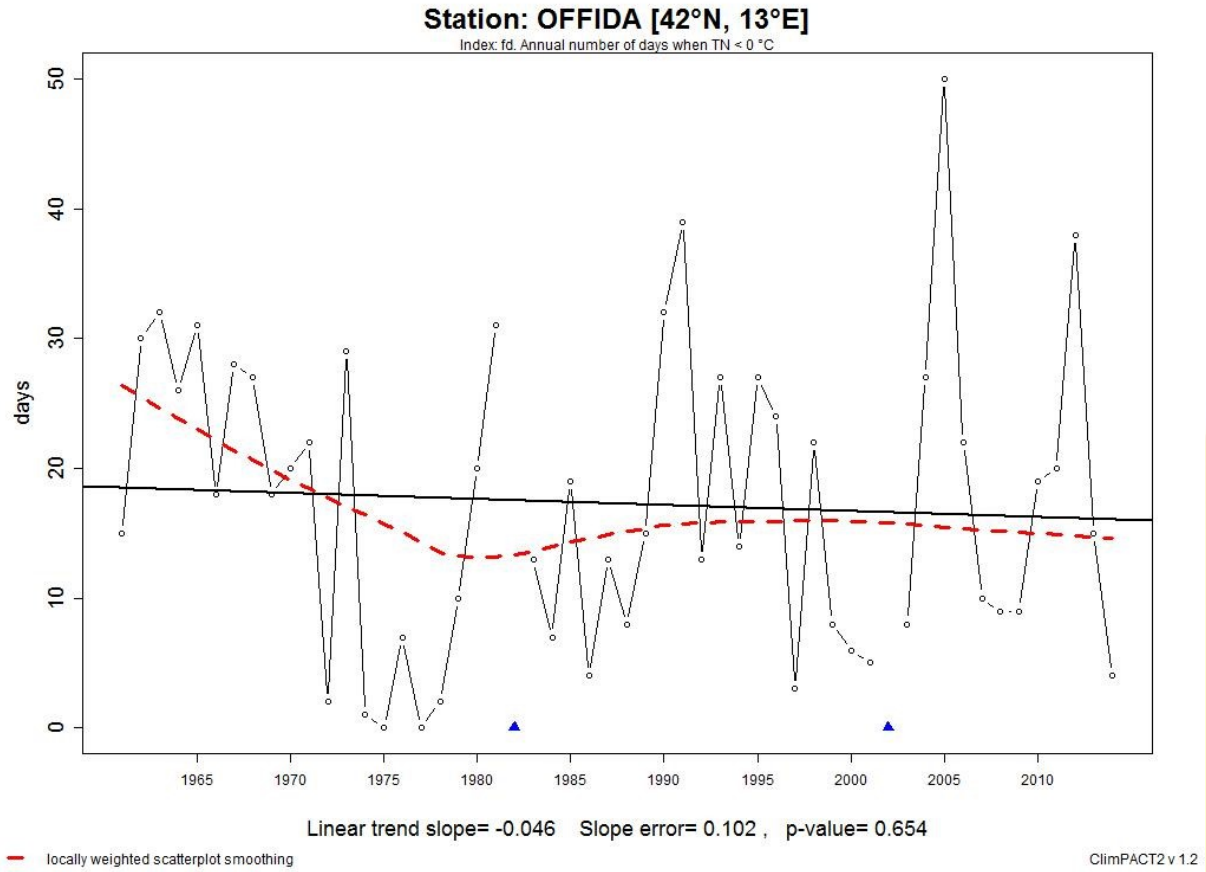
Index	Definition	Units	Indices Climpact2	Slope	STD_of_Slope	P_Value
FD0 (Frost Days)	Annual count of days when TN (daily minimum) < 0ºC	days	fd	-0.046	0.102	0.654
SU25 (Summer days)	Annual count of days when TX (daily maximum) > 25ºC	days	su	0.544	0.178	0.004
TR20 (Tropical nights)	Annual count of days when TN (daily minimum) > 20ºC	days	tr	0.361	0.097	0.000
TN10P (Cold nights)	Percentage of days when TN<10th percentile of the base period	%	tn10p	-0.071	0.058	0.226
TN90P (Warm nights)	Percentage of days when TN>90th percentile of the base period	%	tn90p	0.213	0.053	0.000
TX10P (Cold days)	Percentage of days when TX<10th percentile of the base period	%	tx10p	-0.113	0.044	0.014
TX90P (Warm days)	Percentage of days when TN>90th percentile of the base period	%	tx90p	0.282	0.067	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	wsdi	0.501	0.138	0.001
SU30* (Hot days)	Annual count when TX ≥ 30°C	days	TXge30	0.800	0.191	0.000

Tabella 5.3

Gli indici estremi relativi alle temperature minime e massime risultano generalmente statisticamente significative, con valori p_value spesso nettamente < 0,05; si specifica che i valori di p_value nella precedente tabella pari a "0.000" indicano in realtà un valore inferiore ad una certa soglia che viene così approssimata. Solamente nei casi del parametro FD0 (Frost Days) - il p_value pari a 0.65 evidenzia una non significatività statistica mentre nel caso del TN10P (Cold nights) tale valore scende a 0,23 ma conferma la non significatività del trend.

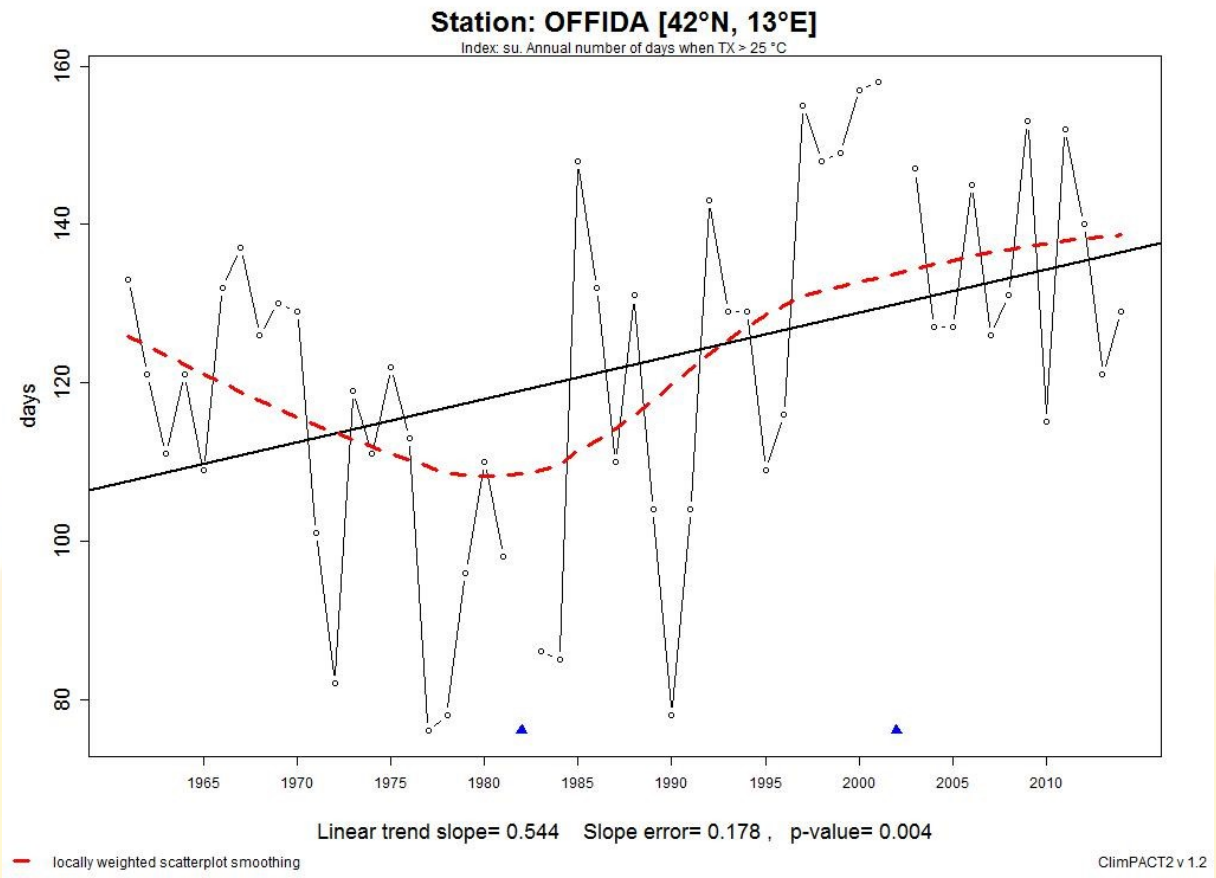
L'analisi dei trend relativi ai singoli parametri mostra che l'indice giorni di gelo (FD0) con temperature minime < 0 °C, mostra un lieve calo – di circa 0.05 giorni/anno pari a circa 3 giorni nell'intero periodo. Assolutamente paragonabile in tendenza ed intensità risulta essere il decremento dei giorni e delle notti fredde. Molto più significativi risultano essere gli incrementi del numero dei giorni molto caldi (SU 30 – circa 0,8 giorni anno) e caldi (SU 25, 1 giorno ogni 2 anni). Altrettanto importante risulta essere l'incremento quantitativo delle ondate di calore.

I risultati emersi mostrano quindi un andamento che conferma in toto quello osservato nel Rapporto ISPRA 37/2013 Variazioni e tendenze degli estremi di temperatura e precipitazione in Italia , benché questi consideri un periodo di osservazione più breve (1961 – 2012) e la normale climatica sia riferita al 1961 – 1990. Nel rapporto ISPRA si evidenzia come in generale, anche nel territorio fisico italiano vi sia una tendenza ad un generale "global warming", con un aumento del valore degli indici che descrivono gli estremi di caldo (SU25, SU 30, TN90, TX90, WSDI), del numero di notti tropicali (TR20), con una netta prevalenza di anomalie positive soprattutto a partire dalla metà degli anni '80. Viceversa, il numero di giorni con gelo (FD0), il numero di notti fredde (TN10P) e il numero di giornate fredde (TN10P), mostrano, per lo stesso periodo una prevalenza di anomalie negative.



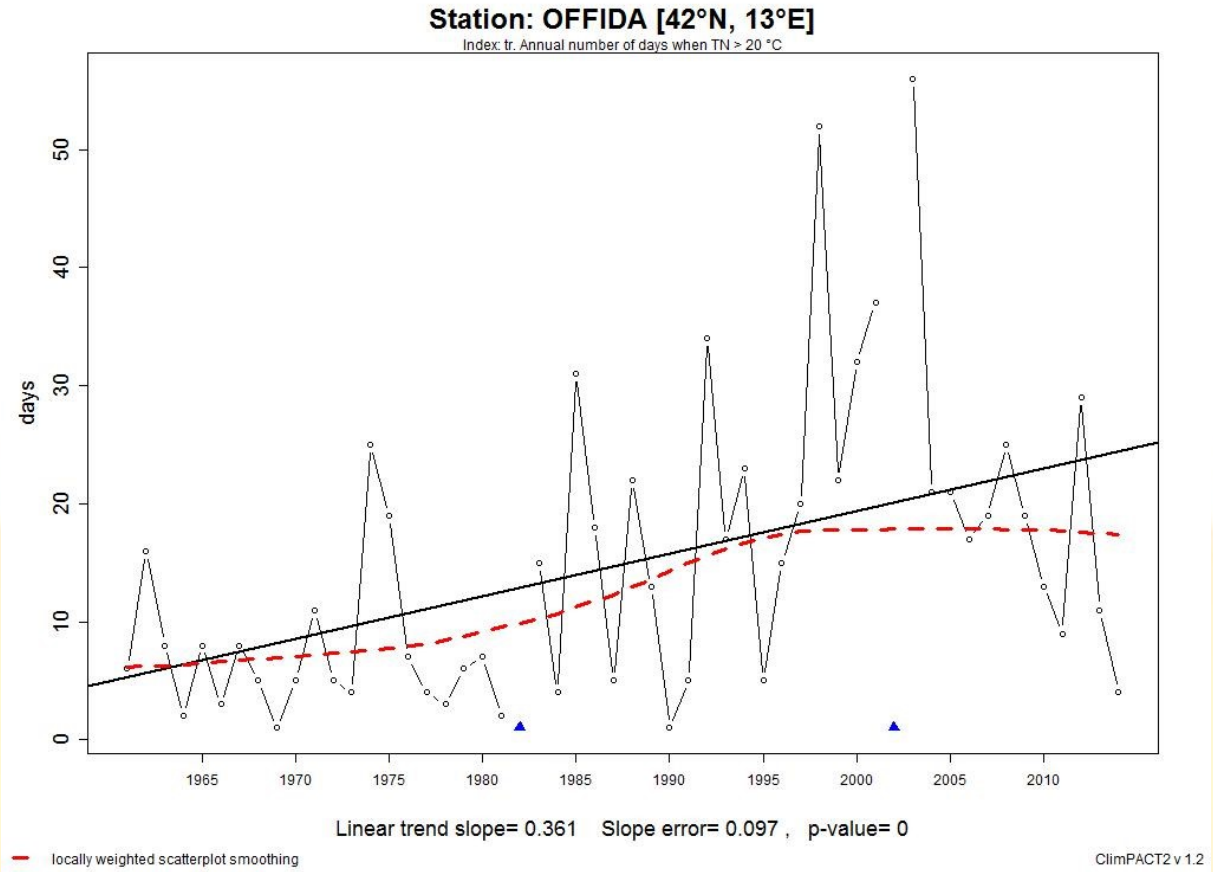
FD0 (Frost Days)

Il segnale mostra un lieve calo del numero dei giorni di gelo; quantificabile in circa 0.05 giorni/anno, l'analisi della funzione polinomiale evidenzia che gran parte del decremento si pone nel primo ventennio di osservazione, seguito dal una lievissima ripresa del parametro e da un comportamento asintotico dal 1990. Outlayers molto intensi si sono verificati recentemente – tra il 2005 ed il 2012, segnale di un'estremizzazione climatica sempre più intensa.



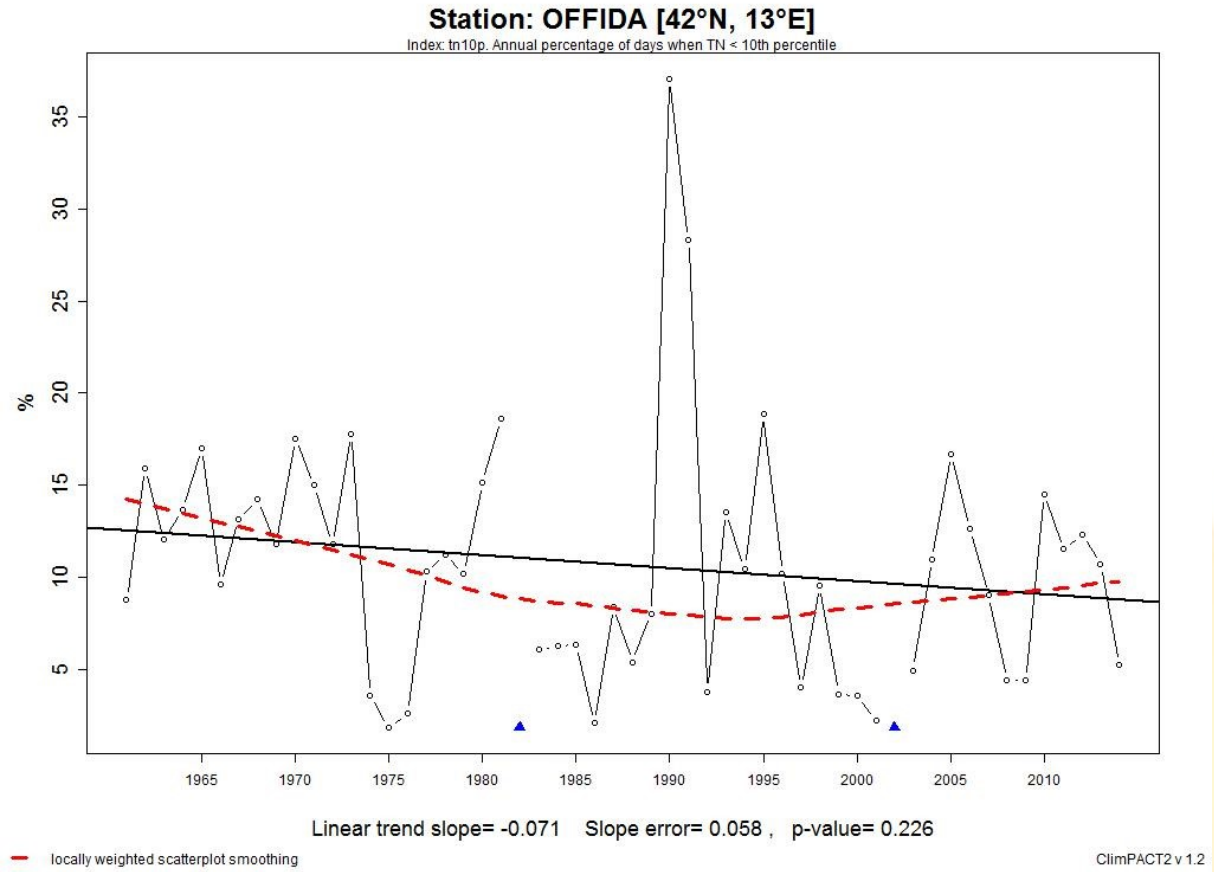
SU25 (Summer days)

Il segnale relativo al numero di giorni caldi - con temperature massime > 25°C è caratterizzato da un complessivo deciso incremento, dell'ordine di oltre 0,5 giorni/anno, dunque di oltre 70 giorni nell'intero periodo; il totale varia dagli iniziali 106 a 138, dunque risulta essere aumentato del 30%, a conferma dell'estrema continentalità recente del segnale termico relativo al sito studiato. Ad una più dettagliata analisi dell'andamento, mediante l'introduzione di una polinomiale di ordine superiore, si notano valori in calo dall'inizio della serie sino alla fine degli anni '70, con un successivo repentino incremento sino al 1995 e successiva tendenza ad un incremento più lineare, accompagnato da una limitata variabilità intrannuale.



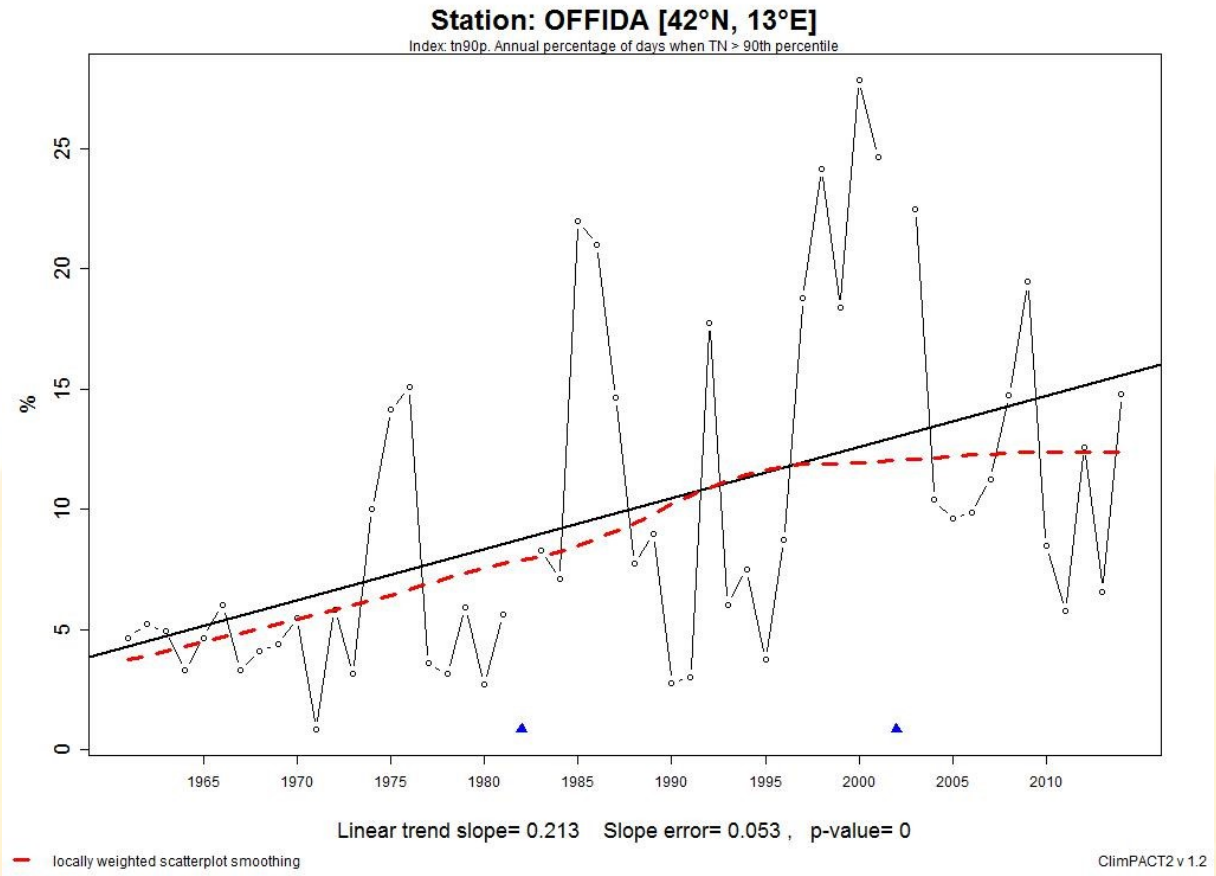
TR20 (Tropical nights)

L'andamento del numero delle notti tropicali - con temperatura minima > 20°C – mostra un deciso incremento – di circa 0.4 giorni /anno pari a più di 20 giorni in totale. In realtà si osserva anche una stasi dell'incremento medio del fenomeno nell'ultimo ventennio Dunque nel periodo analizzato ila frequenza è quadruplicata, divenendo da rara a frequente. Decisi gli outlayers positivi delle estati 1997 e 2003.



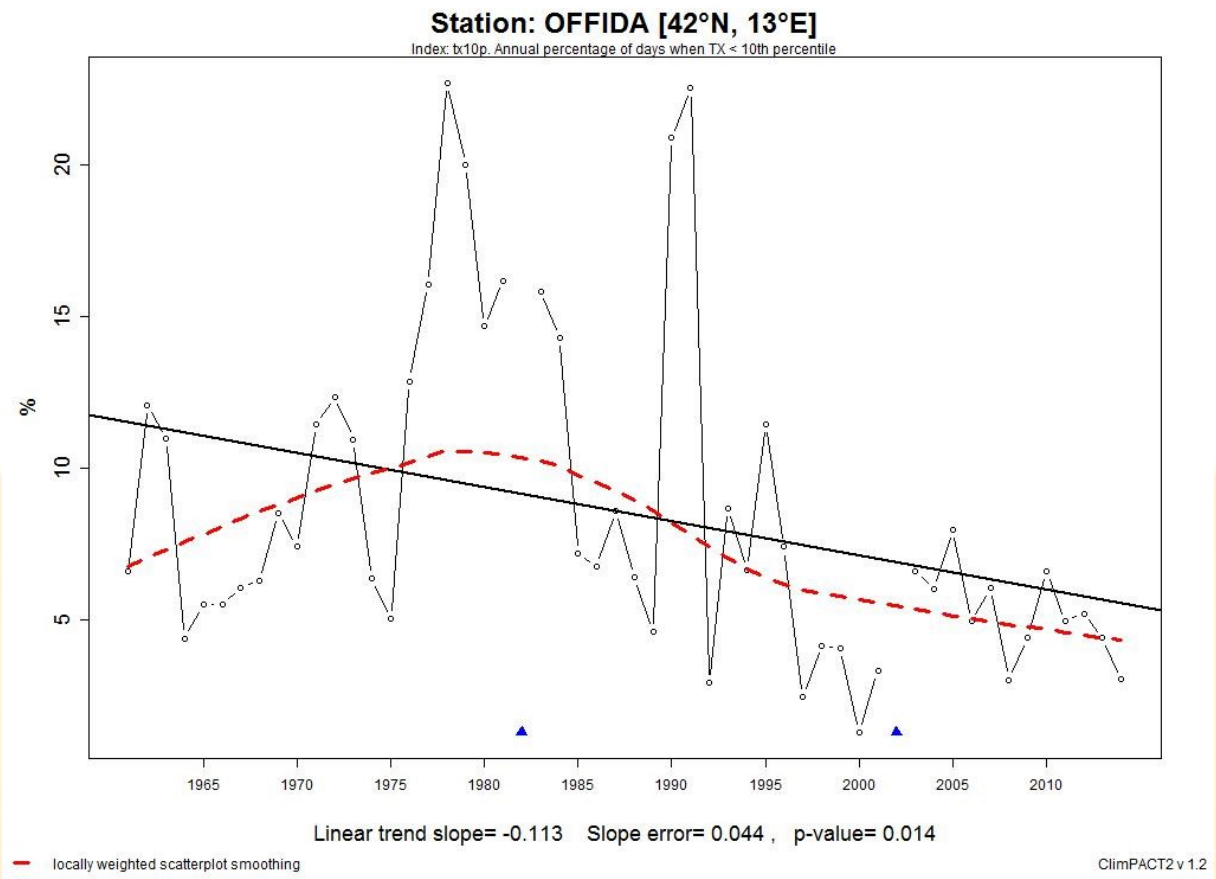
TN10P (Cold nights)

Il segnale relativo ai giorni con temperature minime particolarmente basse – inferiori al decimo percentile - (indice Notti fredde) mostra un moderato calo percentuale – del 30% circa - pur in presenza di un atteggiamento del segnale estremamente variegato e meglio comprendibile analizzando la funzione interpolante di ordine superiore. Ad una fase estesa temporalmente sino al 1995 – caratterizzata da un calo della frequenza del fenomeno sin su valori quasi nulli, segue un lieve ma omogenea ripresa del segnale. Eccezionale l'outlayer registrato nell'anno 1989.



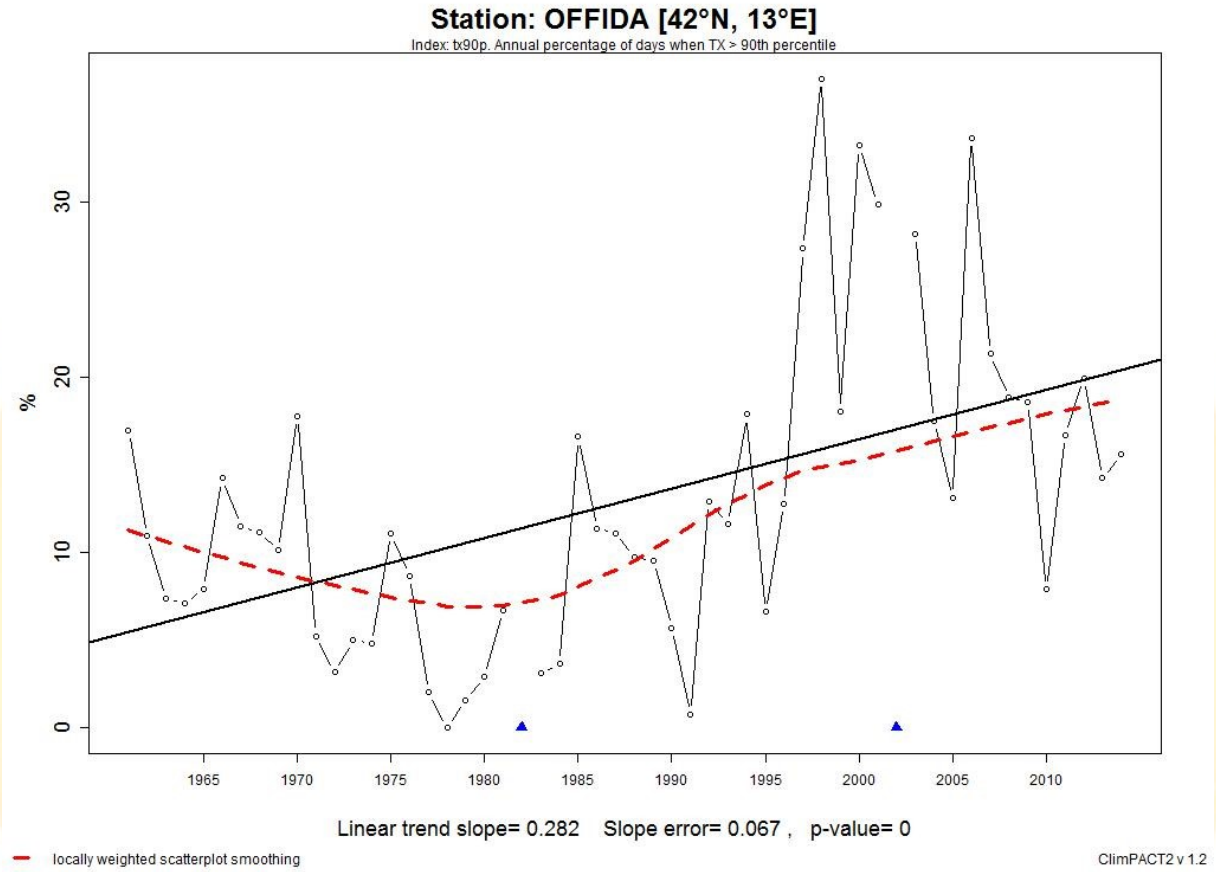
TN90P (Warm nights)

Il segnale relativo alla frequenza percentuale di notti particolarmente calde – oltre il 90° percentile (indice Notti calde) mostra un deciso incremento e risulta essersi quadruplicato nel periodo oggetto dello studio. L'interpolante di ordine superiore mostra un periodo caratterizzato da una notevole frequenza dei fenomeni tra il 1975 ed il 1999- con outliers particolarmente intensi nel 1985, 86 , 93 e soprattutto tra il 1998 ed il 2003. Di il segnale e totalmente asintotico



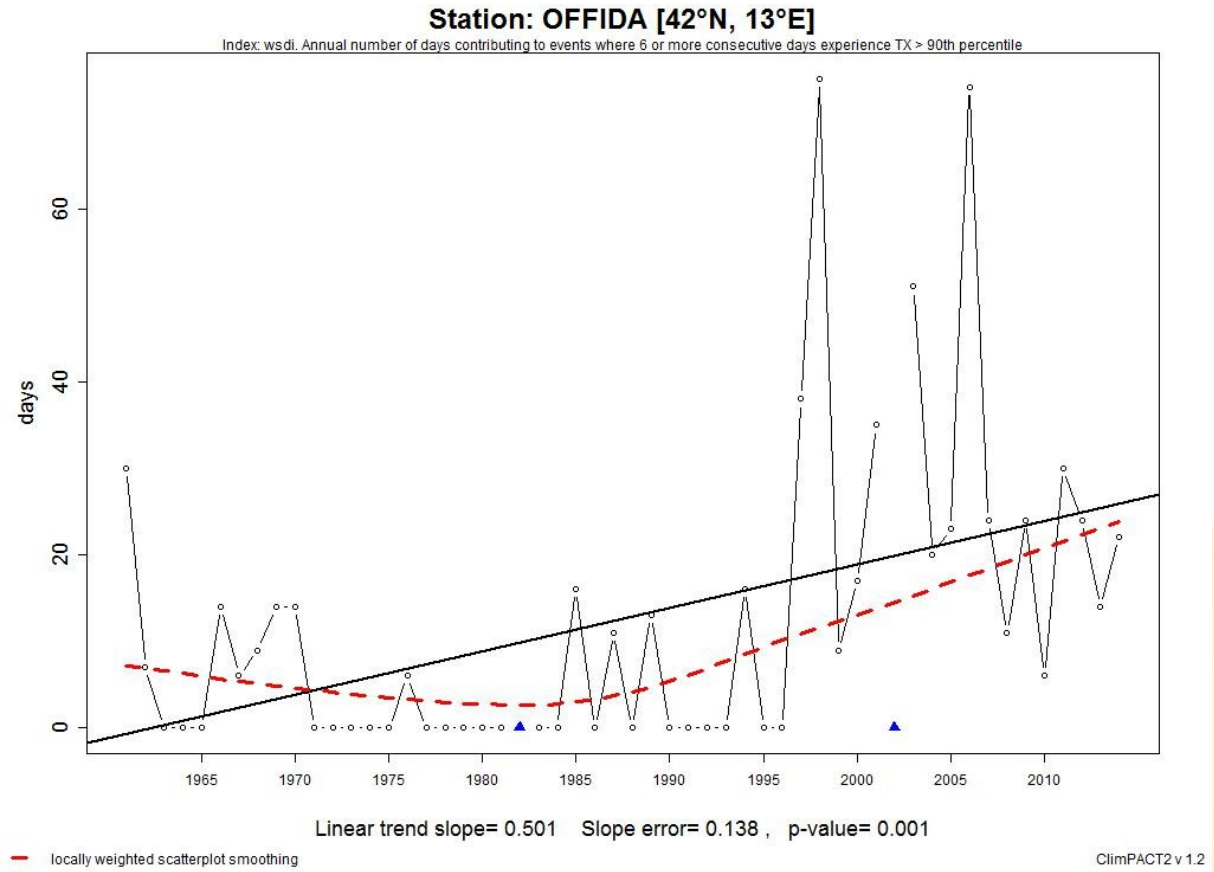
TX10P (Cold days)

La tendenza relativa alla frequenza percentuale del numero di giorni freddi – minori del 10° percentile - mostra un deciso decremento – del 40%, contrastato da un evidente aumento sino al 1980, con un successivo esteso sino al 1995 con un forte calo e da un successivo calo omogeneo con scarsa variabilità intrannuale.



TX90P (Warm days)

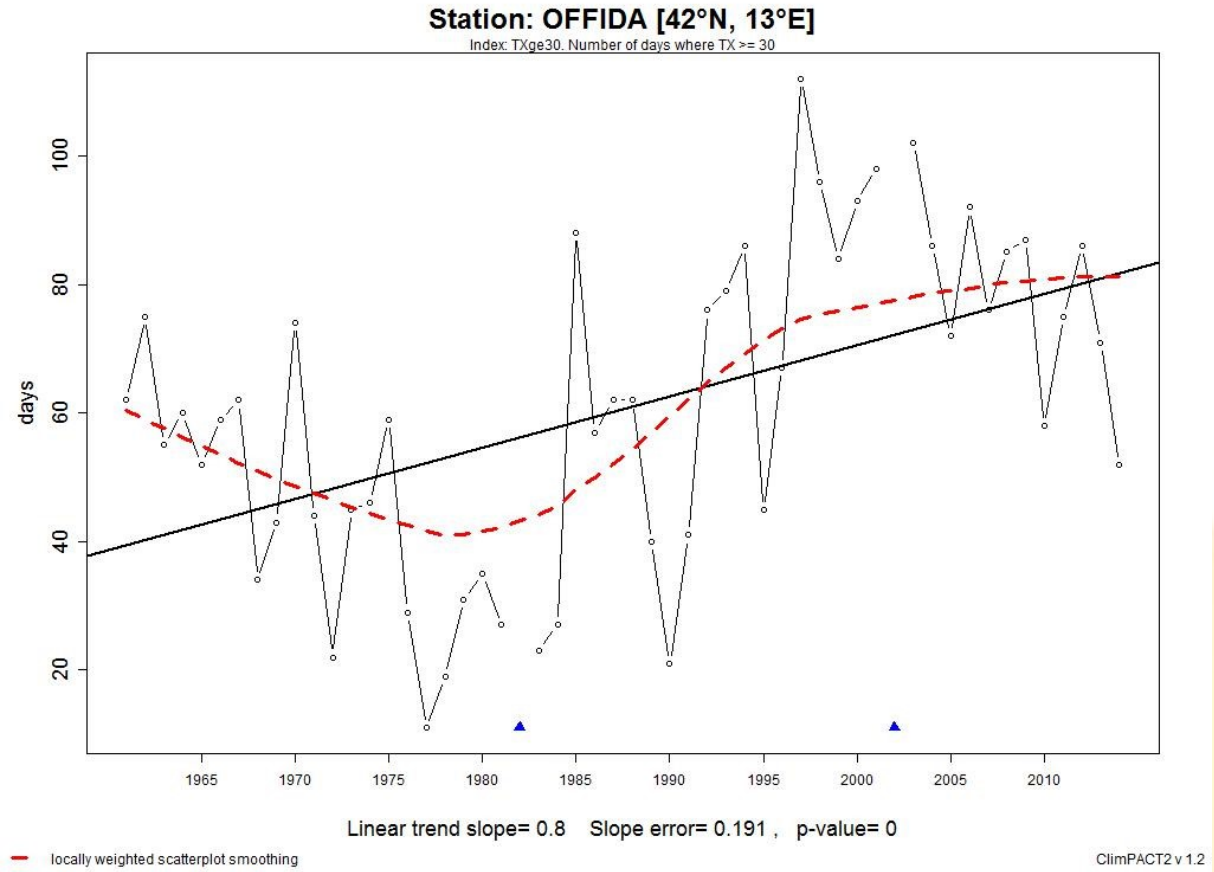
Il segnale relativo alla frequenza percentuale di giorni caldi – superiori al 90° percentile - mostra un forte incremento, anche esso contrastato da un forte decremento sino al 1982; segue un altrettanto decisa ripresa sino al 1995 ed un successivo omogeneo aumento. Nell'ultimo ventennio risulta evidente un aumento della variabilità intrannuale (estremizzazione termica) con numerosi outlayers (1998,2000,2005).



WSDI (Warm Spell Duration Index)

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

L'indice mostra un segnale statisticamente non definibile, in quanto la grandezza analizzata è estremamente rara, con numerose annate senza fenomenologie nella prima meta del periodo analizzato e con valori via via crescenti nell'ultimo ventennio. Notevoli gli outlayers positivi relativi alle estati 1998 e 2006 e significativi i segnali relativi alle fresche estati 2008 e 2010, a conferma di una sempre maggiore estremizzazione climatica.



SU30* (Hot days)

Il numero di giorni molto caldi rappresenta un paramento molto significativo nell'ambiente mediterraneo s.l.. La sua tendenza mostra un intenso incremento –sovrapponibile a quello relativo ai giorni con Tmax>25°C - e quantificabile in oltre 0,8 giorni all'anno, pari a circa 45 giorni per l'intero periodo. Si osserva decremento della fenomenologie sino al 1980, con una forte ripresa fino alla fine del XX secolo ed un incremento successivo più graduale. Negli ultimi anni, infine, la tendenza è asintotica.

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.

Fazzini M. & Giuffrida A. (2005): Une nouvelle proposition quantitative des regime pluviométriques dans le territoire de l' Italie : premiers résultats - in « Climat Urbain, Ville et Architecture » Actes XVIII Colloque Internationale de Climatologie – Gênes – 362-365.

Fioravanti G., Fraschetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F., (2016). Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. ISPRA, stato dell'ambiente 66/2016. ISBN 978-88-448-0780-1.

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

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.

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, Pilon P, Cavadias G (2002b) Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. J Hydrol 259:254–271. doi: 10.1016/S0022-1694(01)00594-7

Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. (2001). Trends in Canadian streamflow. Water Resources Research, 37(4):987-998.