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 Macerata

LIFE SEC ADAPT
LIFE14 CCA/IT/000316

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
AUTHORS	Municipality of Macerata Centro di Ecologia e Climatologia - Osservatorio Geofisico Sperimentale S.C.a R.L.

TABLE OF CONTENTS

Executive summary in English 4

Executive summary in national language.....5

1. Introduction..... 7

1.1 Life Sec Adapt project objective 7

1.2 Action A1: definition of a climate baseline at local level 7

2. Municipality of Macerata : the geographical and climatic context 8

3. Data quality control and selected series: methodological approach for the analysis of data at local level.....9

4. Current climate trends 12

a Precipitation 12

b Temperatures 14

5. Climate extreme indices 19

a Precipitation 20

b Temperatures 27

References 38

Executive Summary

The assessment of local climate trends, related to both mean and extreme values, represents the primary source of information about climate and its variation on a specific geographical area. This information is obtained through the application of statistical models for trend detection and estimation to multi-decadal climatological time series.

The following report, describing the assessment of 55 years (1961-2015) of climate data recorded at local level (related to precipitation and temperature), provides a framework of the current dynamics of climate change in our territory and represents the first essential step for undertaking a subsequent risk and vulnerability assessment at municipal level.

Precipitation

Regarding precipitation trends, the statistical analysis carried out shows an overall reduction of the cumulated precipitation, at both annual and seasonal basis, except for Spring season. Summer season results affected by the most consistent reduction (*TS slope*=-0.706). However, all the annual and seasonal variations result not statistically significant, based on the calculated *Mann-Kendall* test *p_value*.

As the mean precipitation trends, even precipitation-related indices do not show a statistically significant signal. However, we can see a positive trend of the Simple Daily Intensity Index (SDII, precipitation amount on rainy days, i.e. days with precipitation ≥ 1.0 mm) linked to an increased value of Consecutive Dry Days (CDD).

However, more extensive analysis could indicate a slight acceleration of the hydrologic cycle, with an increase of dry spell length coupled to an increase of intense precipitation events, especially in the last twenty years (Trenberth et al. 2003; Giorgi et al. 2011). As well as for the considerations written thus far, even for this conclusion, results do not allow us to consider this process statistically significant, being therefore mainly driven by natural climate variability.

Temperature

Mean, minimum and maximum temperature show positive statistically significant trends. Maximum temperature presents the highest increase (+ 2 °C with respect to the entire period). The most relevant temperature variations for all the three variables result in summer (up to + 3.8 °C with respect to the entire period).

All temperature-related indices, regarding both maximum and minimum temperature, show statistically significant variations, with the exception of the annual number of frost days, i.e. with daily minimum temperature < 0 °C (FD0, Frost Days). The highest increase belongs to the Tropical Nights Index (TR20, annual count of days when TN (daily minimum) > 20ºC), to the Hot Days Index

(SU30, annual count when TX (daily maximum) ≥ 30°C) and to the Warm Spell Duration Index (WSDI, annual count of days with at least 6 consecutive days when TX > 90th percentile of the base period). Furthermore, the percentage of days when TX (daily maximum) <10th percentile of the base period (TX10P, Cold days) presents a steep decrease.

Temperature trends result characterised by a "break-point" in the mid-80s (Toreti et Desiato, 2007), with a consistent increase of the frequency of positive anomalies, both for extreme indices and mean values. Finally, it is noteworthy that the decrease affecting cold extremes is less intense compared to the increase regarding hot extremes.

Executive Summary in National Language

La principale fonte di informazioni sul clima e i suoi cambiamenti relativamente ad una specifica area geografica è costituita dalla valutazione dei trend climatici locali, riferita sia ai valori medi che a quelli estremi. Queste informazioni vengono fornite dall'analisi di serie storiche di variabili climatiche alle quali sono applicati dei modelli statistici per definire la presenza e la relativa intensità di trend.

Il seguente report, descrittivo dell'elaborazione di serie storiche della lunghezza di 55 anni (1961-2015), fornisce un inquadramento delle attuali dinamiche di cambiamento climatico nel nostro territorio. Esso rappresenta la prima essenziale fase propedeutica ad una successiva valutazione del rischio e della vulnerabilità a livello comunale.

Precipitazioni

Le analisi statistiche effettuate e descritte nel report, riguardanti i trend relativi alle precipitazioni, evidenziano un generale decremento ad esclusione della stagione primaverile. L'estate è la stagione che mostra il decremento più consistente (*TS slope*=-0.706). Ad ogni modo, le variazioni annuali e stagionali non mostrano significatività statistica, considerando il valore del *p_value* risultante dal test statistico *Mann-Kendall*.

A conferma dei trend relativi alle medie, anche gli indici non mostrano un segnale statisticamente significativo. Si assiste comunque a trend positivi relativi l'intensità della precipitazione durante i giorni piovosi (SDII, Simple Daily Intensity Index) accoppiata a un allungamento annuale del massimo numero di giorni secchi consecutivi (CDD, Consecutive Dry Days).

Ad ogni modo, una più dettagliata analisi degli indici indicherebbe una lieve accelerazione del ciclo idrologico locale, che consisterebbe in un allungamento dei periodi secchi accoppiato all''incremento dell'intensità delle precipitazioni durante i giorni piovosi, in particolare nell'ultimo ventennio (Trenberth et al. 2003; Giorgi et al. 2011). Anche in riferimento a quest'ultimo punto, i risultati non consentono di assegnare significatività statistica a tale processo, riconducibile quindi

alla normale variabilità climatica.

Temperature

Temperature medie, minime e massime mostrano trend positivi statisticamente significativi. La variabile che annualmente mostra l'incremento più intenso è la temperatura massima (+ 2 °C lungo l'intero periodo). Stagionalmente, per tutte e tre le variabili è l'estate la stagione più soggetta a un forte incremento termico (+ 3.8 °C lungo l'intero periodo).

Gli indici relativi alle temperature minime e massime mostrano tutti variazioni statisticamente significative a esclusione del numero annuale dei giorni con di gelo ovvero con temperatura minima inferiore agli 0 °C (FD0, Frost Days). Gli indici che segnano incrementi più rilevanti sono quelli riferiti alle giornate con temperature minime superiore ai 20°C (TR20, Tropical nights), alle giornate calde con temperature massime superiore o uguali ai 30°C (SU30, Hot days) e l'allungamento dei periodi con giornate calde consecutive (WSDI, Warm Spell Duration Index). Infine un drastico decremento è risultato per la percentuale annua delle giornate fredde (TX10P, Cold days).

Per quanto riguarda le temperature, temporalmente si può individuare la metà degli anni '80 come "punto di rottura" (Toreti e Desiato, 2007), con un forte incremento della frequenza di anomalie positive relative non solo agli indici estremi ma anche ai valori medi. Inoltre è interessante sottolineare che l'intensità della diminuzione degli estremi freddi è risultata minore dell'incremento degli estremi caldi.

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. Questo si propone come modello di buona pratica per gli enti locali che intendano sviluppare un virtuoso processo di adattamento ai cambiamenti climatici sotto il coordinamento delle autorità e dalle agenzie di sviluppo a livello regionale.

1.2 Azione A1: definizione della base climatica a livello locale

In accordo con le linee-guida della Commissione Europea per lo sviluppo di strategie di adattamento (SWD (2013) 134 final), 17 comuni delle regioni Marche (Italia) ed Istria (Croazia) 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.

L'informazione climatica inerente gli attuali trend verrà poi completata con quella proveniente da proiezioni climatiche da modello mirate a definire l'evoluzione climatica attesa a livello regionale per fine secolo. Integrando le due fasi si creeranno le basi conoscitive per la successiva fase di analisi dei rischi e delle vulnerabilità del territorio.

2. Comune di Macerata: il contesto geografico e climatico

Dal punto di vista geografico, il territorio maceratese si estende tra la vallata del fiume Potenza a Nord e quella del fiume Chienti a Sud; è sito mediamente a 30 km ad Ovest del mare Adriatico e dista circa 50 km dall'Appennino Umbro-Marchigiano. Ai piedi della collina maceratese, si trovano le frazioni di Villa Potenza, Sforzacosta e Piediripa.

Per quanto riguarda il verde pubblico, nell'anno 2015 il territorio comunale ne è risultato occupato per 92,48 ettari. Ciascun residente ha a disposizione uno spazio medio di verde pubblico pari a 21,7 mq.

In generale è possibile affermare che tutto il territorio periurbano riveste un considerevole interesse paesistico, storico e naturalistico.

Superficie	92,73 Km^2
Livello altimetrico massimo	320 m
Livello altimetrico minimo	58 m
Densità demografica	459,15 ab./Km^2

Tabella 2.1 - Dati territoriali relativi al Comune di Macerata – Anno 2015 (Fonte: Comune MC).

Le proprietà climatiche del territorio marchigiano 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.

In particolare, il clima al quale appartiene il territorio maceratese è ascrivibile al tipo designato "temperato sublitoraneo" dal climatologo tedesco Köppen, proprio delle zone collinari medio-basse centro-meridionali delle Marche e della parte costiera fra Senigallia e Cupramarittima. Tale tipologia di clima è di transizione tra quello propriamente "mediterraneo" (clima Csa secondo Köppen-Geiger) e quello "subcontinentale" (clima Cfa di Köppen-Geiger o clima temperato piovoso).

Trovandosi in una posizione di passaggio, il territorio in questione presenta caratteri climatici dell'uno o dell'altro tipo, a seconda della circolazione atmosferica globale.

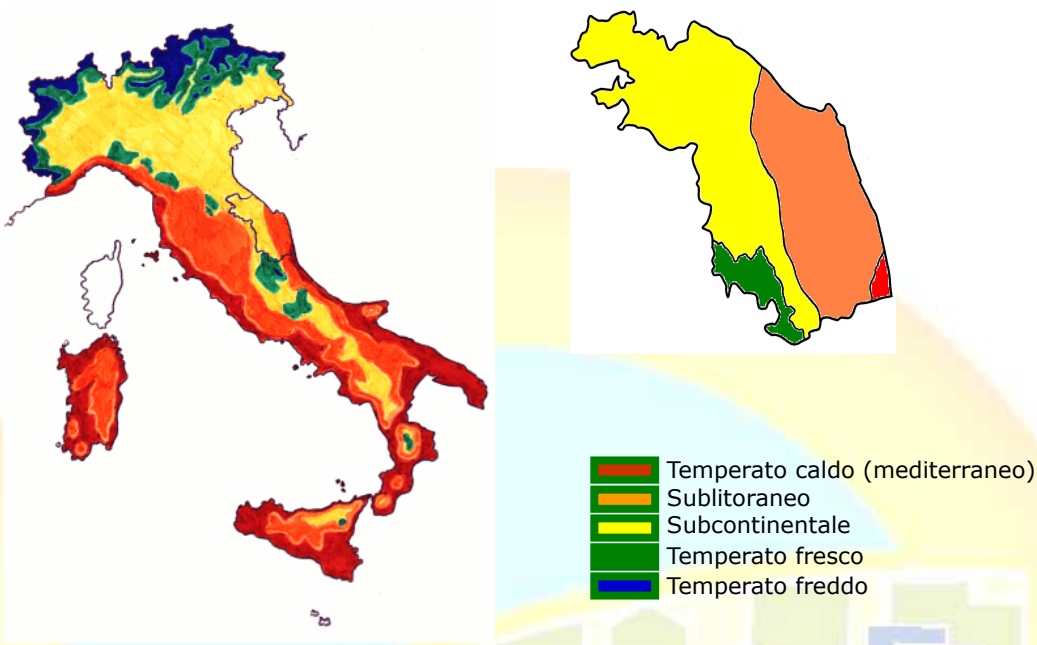

Figura 2.1 - Inquadramento dei climi italiani nella classificazione del Köppen (M. Pinna – 1969).

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 giornaliera.

In riferimento a ogni realtà comunale (con l'eccezione dei comuni 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. A tal proposito, le serie fornite dal Centro Funzionale della Protezione Civile regionale aderiscono a un Sistema nazionale di raccolta, elaborazione e diffusione di serie climatiche di qualità controllata (SCIA, www.scia.isprambiente.it).

In questo contesto, la metodologia di controllo, attuata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), integra riconosciute procedure applicate da centri internazionali come National Climatic Data Center (NCDD) e della National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). L'intero set di controlli effettuati mira a testare la coerenza fisica e temporale delle serie e si articola in quattro categorie di analisi: test di integrità di base, identificazione dei valori anomali, test di consistenza interna temporale e test di consistenza spaziale (ISPRA, 2016).

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 statistica gaussiana (Yue et al., 2002). La base concettuale del MK è la sua ipotesi nulla (H0), che assume che la serie in analisi non sia caratterizzata dalla presenza di trend. Il MK fornisce due dei tre coefficienti precedentemente citati. Il primo, *Tau (S*), rappresenta il valore di correlazione tra la variabile dipendente e indipendente calcolata considerando le relazioni tra tutte le possibili coppie di dati.

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

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

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

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 identificazione (accettazione o rifiuto della H0) e quantificazione del trend, determinate dal potenziale carattere auto-regressivo della serie in analisi, la serie è stata precedentemente sottoposta a *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* 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 essere di grande rilevanza sui sistemi naturali e antropici con particolare enfasi sui 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 analizzare un potenziale cambiamento del carattere 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 delle anomalie climatiche

In questo capitolo verranno evidenziati i risultati dell'analisi di trend relativi alle sommatorie annue e stagionali delle precipitazioni totali e delle temperature medie minime e massime e 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 annua e stagionale, sempre considerando il medesimo trentennio.

Come evidenziato nel cap.3, al fine di verificare l'eventuale presenza di trend sono stati condotti test di significatività statistica adoperando il classico metodo non parametrico di Mann Kendall (MK; Kendall et al., 1968; Yue et al. 2002b; 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* (TS slope).

4a Precipitazioni

I risultati dell'analisi statistica appena sopra proposta e condotta sono riportati nella tabella 4a.1 qui di seguito riportata:

	Mann-Kendall Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Thiel-Sen's slope
Annual_Pr	-0.080	0.403	-0.212
Autumn_Pr	-0.063	0.518	-0.251
Spring_Pr	0.024	0.805	0.095
Summer_Pr	-0.171	0.070	-0.706
Winter_Pr	-0.071	0.456	-0.373

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

Dalla tabella riassuntiva è possibile notare che per la stazione di Macerata le precipitazioni mostrano un trend generalmente negativo seppur non statisticamente significativo (*p_value* > 0.05). Sia a base annuale che stagionale, ad esclusione della stagione primaverile, sia il valore *Tau* che la *TS slope*, mostrano valori negativi. Il decremento di intensità maggiore può essere osservato durante l'estate.

Per quanto riguarda il trend delle precipitazioni, dall'analisi della figura 4a.1, risultano sostanziali differenze, ad esclusione di estate e inverno, tra i valori dei coefficienti angolari calcolati con metodo parametrico (*linear regression*) e non parametrico (*Thiel-Sen slope*); questo fatto evidenzia l'importanza di considerare regressioni non parametriche per l'analisi di variabili climatiche con distribuzione diversa dalla Normale. Osservando la regressione polinomiale si nota un'oscillazione del regime precipitativo, con un deciso punto di flesso tra gli anni '80 - '90.

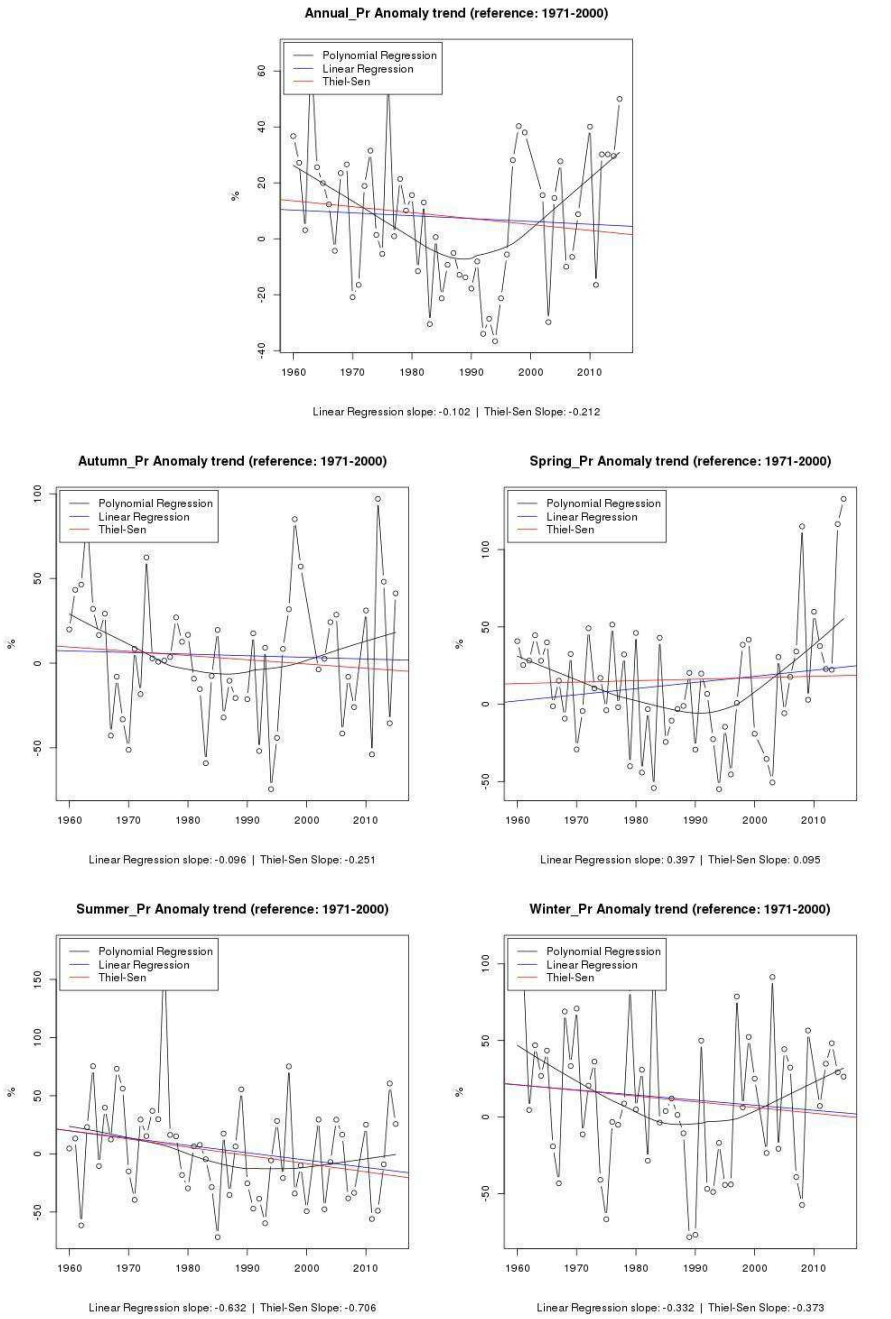

Figura 4a.1 – Trend delle anomalie delle precipitazioni totali annuali e stagionali.

4b Temperature

Dalla disamina della tabella 4b.1, il segnale termico relativo al periodo oggetto dello studio – calcolato sull'anomalia relativa al CLINO 1971-2000 – mostra un intenso incremento generalizzato delle temperature, a conferma di un segnale riconosciuto anche a livello di bacino mediterraneo. Gli incrementi termici medi annui variano tra 0.030°C per i valori medi minimi e 0.037°C per quelli massimi, con una media annua pari a circa 0.033°C. Se si considera l'intero periodo, l'aumento delle temperature medie varia tra 1.1 °C in autunno e inverno e 3.3°C in estate. La temperatura media annua è incrementata di circa 1.8°C. Le temperature minime mostrano un segnale positivo compreso tra 0.9 °C in autunno e 2.5 °C in estate. L'incremento annuo delle minime si attesta a circa 1.6 °C. La temperatura massima, ad esclusione dell'autunno rappresenta la variabile interessata da un incremento maggiore (>1/3 di °C/10 anni), che va dai 0.9 °C in autunno ai 3.8 °C in estate. A livello annuale, le temperature massime mostrano un incremento di 2.0 °C.

	Mann-Kendall Tau	Mann-Kendall 2-sided p_value	Thiel-Sen's slope
Annual_Tm	0.439	0.000	0.033
Autumn_Tm	0.190	0.053	0.020
Spring_Tm	0.346	0.000	0.038
Summer_Tm	0.486	0.000	0.060
Winter_Tm	0.200	0.043	0.020
Annual_Tn	0.433	0.000	0.030
Autumn_Tn	0.224	0.022	0.018
Spring_Tn	0.307	0.001	0.030
Summer_Tn	0.460	0.000	0.046
Winter_Tn	0.183	0.064	0.020
Annual_Tx	0.368	0.000	0.037
Autumn_Tx	0.166	0.091	0.018
Spring_Tx	0.340	0.000	0.045
Summer_Tx	0.439	0.000	0.070
Winter_Tx	0.196	0.048	0.023

Tabella 4b.1 – Coefficienti statistici considerati per l'analisi dei trend delle anomalie annuali e stagionali delle temperature medie, minime e massime.

Per le temperature medie la significatività statistica calcolata è comprovata per l'intero anno e per tutte le stagioni ad esclusione dell'autunno, con valori spesso prossimi a zero, a conferma del fatto che la tendenza evidenziata è di certa rilevanza statistica. Anche il segnale termico relativo ai valori minimi mostra una comprovata significatività statistica, ad eccezione di quello relativo alla stagione invernale (*p_value* = 0.064). Per quanto concerne il segnale relativo alle temperature massime, la significatività statistica è confermata per tutti periodi presi in considerazione ad esclusione

dell'autunno (*p_value* = 0.091).

Per quanto riguarda il trend delle temperature medie, dall'analisi della figura 4b.1, si osserva una similarità nel comportamento delle rette interpolanti, mentre le funzioni interpolanti di ordine superiore tendono ad evidenziare un lieve minimo o flesso a cavallo degli anni '80 determinati rispettivamente dal perdurare di anomalie negative durante gli anni '70 e dalle forti anomalie positive durante gli anni '80. Risulta altresì evidente che, nell'ultimo decennio, il segnale della polinomiale non evidenzia aumenti proporzionalmente più intensi rispetto a quelli caratteristici del ventennio precedente, con una tendenza ad un flesso nella stagione estiva favorito dall'eccezionale estate dell'anno 2003 caratterizzata da un'anomalia positiva superiore ai 6 °C.

Anche nel caso del trend delle temperature minime (figura 4b.2), non si osservano scostamenti significativi tra il comportamento delle due differenti interpolanti. Il comportamento dell'interpolante polinomiale evidenzia per l'anno, un flesso nella prima metà degli anni '80, causato da annate "sottomedia" e da un successivo intenso incremento termico; tale segnale risulta essere simile nella stagione autunnale ed in quella primaverile. Il segnale relativo alla stagione estiva risulta segnato dalla presenza dell'*outlier* positivo relativo all'estate del 2003 (quasi 5°C oltre la media CLINO). Il segnale invernale enfatizza il punto di flesso prima citato, con 5 degli ultimi 7 inverni caratterizzati da una lieve anomalia negativa.

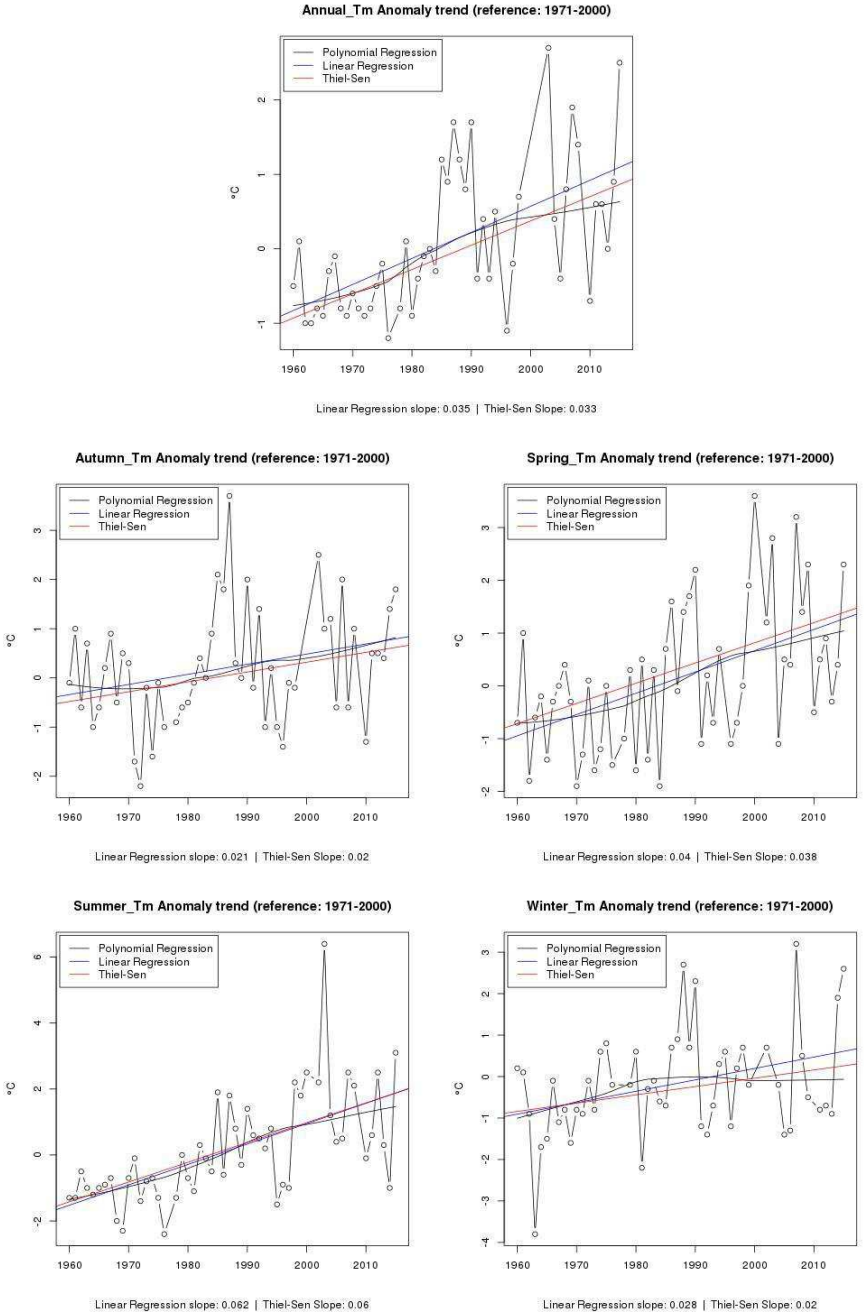

Figura 4b.1– Trend delle anomalie delle temperature medie annuali e stagionali.

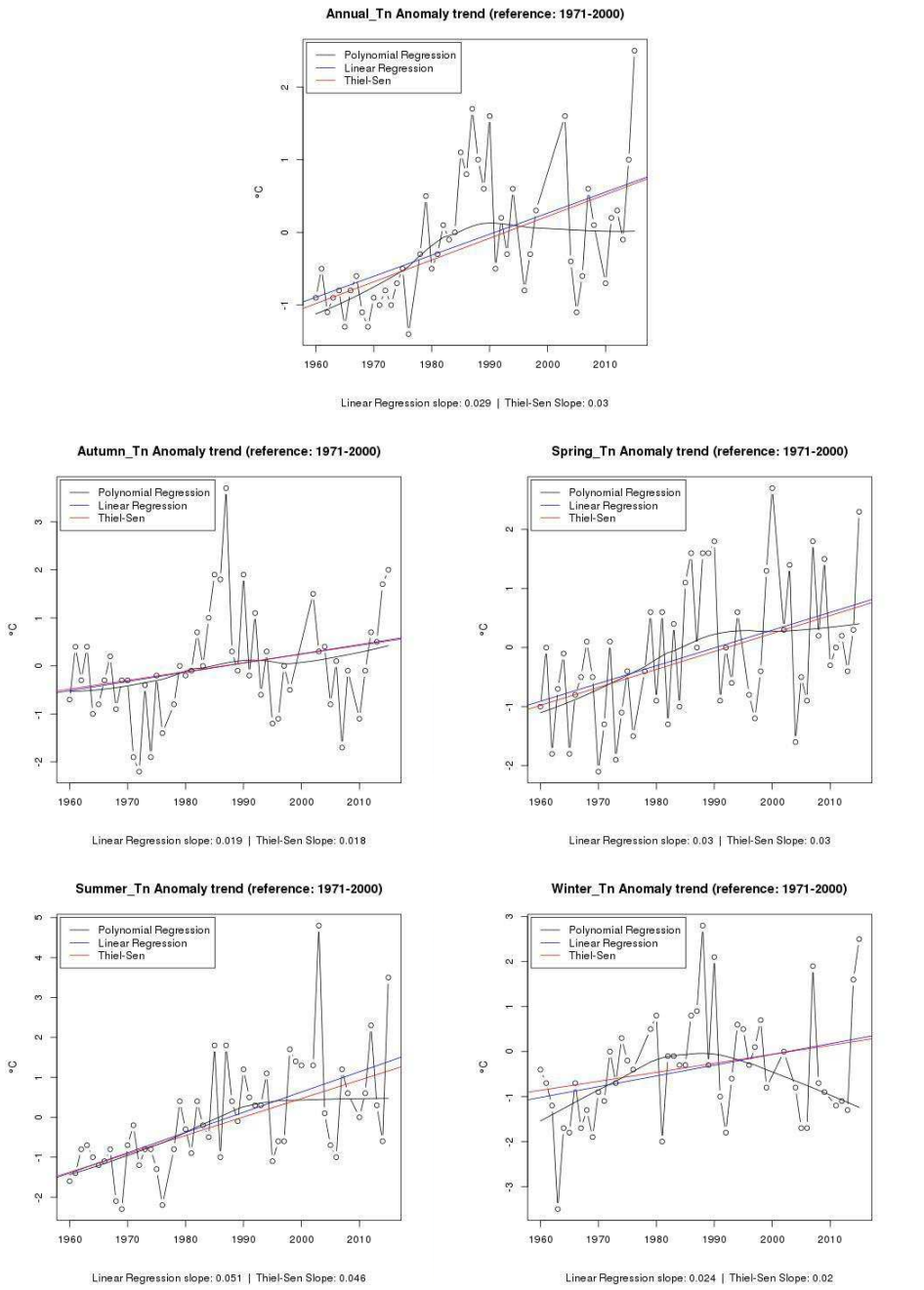

Figura 4b.2– Trend delle anomalie delle temperature minime annuali e stagionali.

Per quanto riguarda il trend delle temperature massime, dall'analisi della figura 4b.3, si osserva che esiste un lieve quanto trascurabile scarto tra il comportamento delle interpolanti lineari. Considerando il comportamento dell'interpolante polinomiale si nota un aumento della variabilità sia inter-annuale che inter-stagionale determinante un asintoto quasi orizzontale sulle due rette di regressione lineare. Tale segnale risulta deciso per la stagione estiva. Inoltre possiamo vedere come l'*outlier* relativo all'anno 2003, già osservato nelle temperature medie e minime, sia ancor

più marcato per le temperature massime con un’anomalia estiva prossima agli 8 °C.

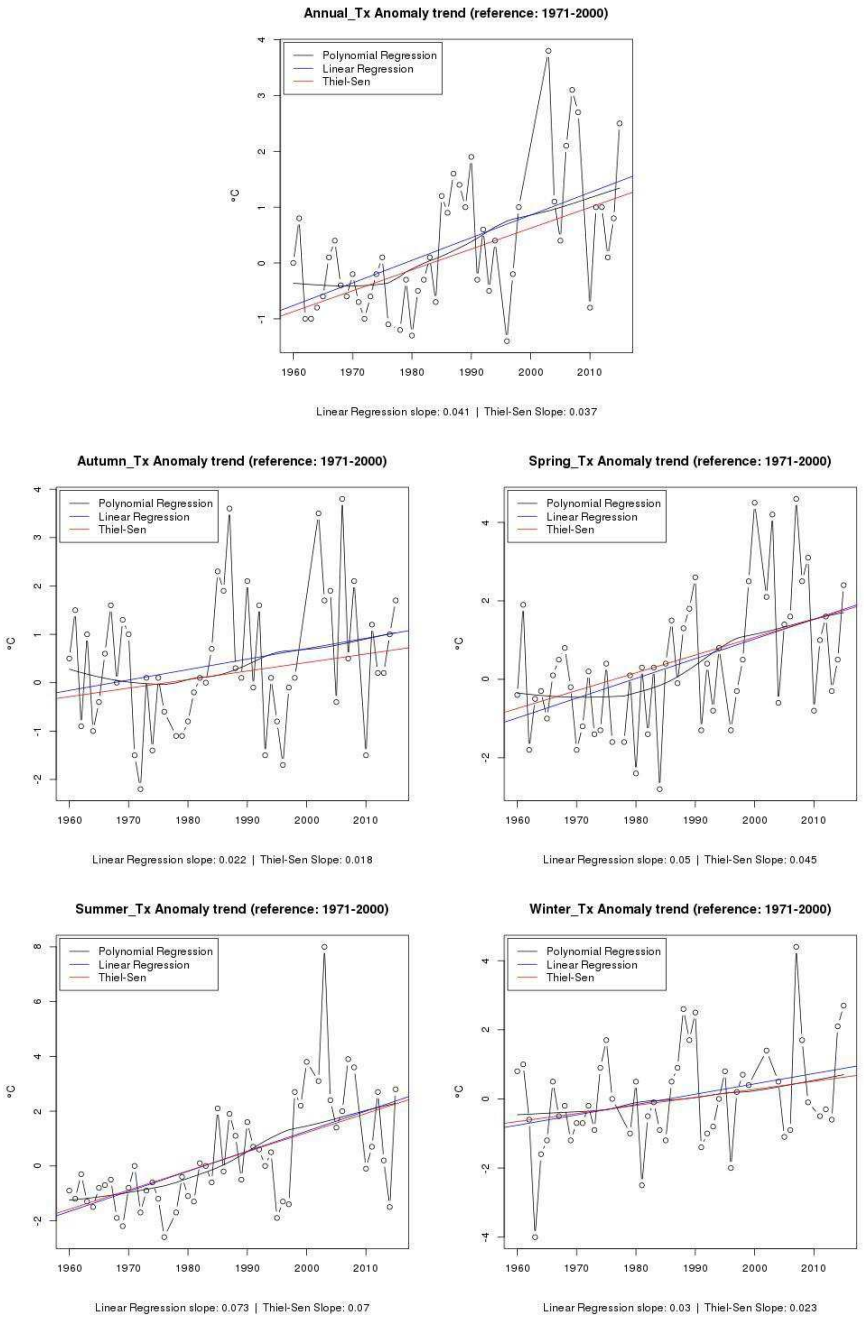

Figura 4b.3 – Trend delle anomalie delle temperature massime annuali e stagionali.

5. Indici climatici

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 14 indici, elaborato con il pacchetto del software R "climpact2", è suddiviso in indici per la precipitazione e la temperatura ed è mirato a quantificare l'entità del cambiamento climatico in atto alle nostre latitudini. I risultati di tale fase saranno essenziali per poi definire gli impatti sul quadro sociale, agricolo e della salute pubblica a scala locale.

Per ogni indice è specificato, oltre al 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:

Stazione:	Macerata_1961-2015
Latitudine:	43°.17' N
Longitudine	13°.27' E
Periodo di riferimento	1971 – 2000
Altitudine	303 m s.l.m.

5a Indici climatici Precipitazione

Index	Definition	Units	Indices Climpact 2	Slope	STD of slope	p_value
RX1day (Max 1-day precipitation amount)	Maximum value of 1-day precipitation	mm	rx1day	0.023	0.199	0.908
R95p (Very wet days)	Annual total precipitation when daily PRCP > 95th percentile of the base period	mm	r95p	0.032	0.976	0.974
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	0.006	0.013	0.62
CDD (Consecutive Dry Days)	Maximum number of consecutive days with daily PRCP < 1mm	mm	cdd	0.133	0.079	0.1
R20 (Very heavy precipitation days)	Annual count of days when daily PRCP ≥ 20 mm	days	r20mm	0.021	0.03	0.493

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

L'assenza di significatività statistica risultata in riferimento ai trend delle anomalie annuali e stagionali viene confermata anche dall'analisi statistica applicata agli indici estremi. Tutti gli indici considerati mostrano infatti p_value > 0.05. Non si osservano dunque tendenze ben definite sia per quanto riguarda l'indice relativo alla precipitazione massima giornaliera (RX1day) sia per quello che riguarda l'accumulo annuale che deriva da fenomeni particolarmente intensi (R95p). Essi, infatti, mostrano una pendenza della retta interpolante praticamente nulla e oscillazioni riconducibili alla normale variabilità climatica inter-annuale con ciclicità attorno ai 25 anni. Simili risultati riguardano l'indice di intensità di pioggia (SDII) e l'indice di precipitazioni > di 20 mm (R20) che mostrano trend in leggero incremento ma non significativo con p_value rispettivamente di 0.62 e 0.5. L'indice dei giorni consecutivi senza precipitazione (CDD), anche se risulta leggermente in crescita, non mostra

una tendenza significativa.

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

RX1day (Max 1-day precipitation amount)

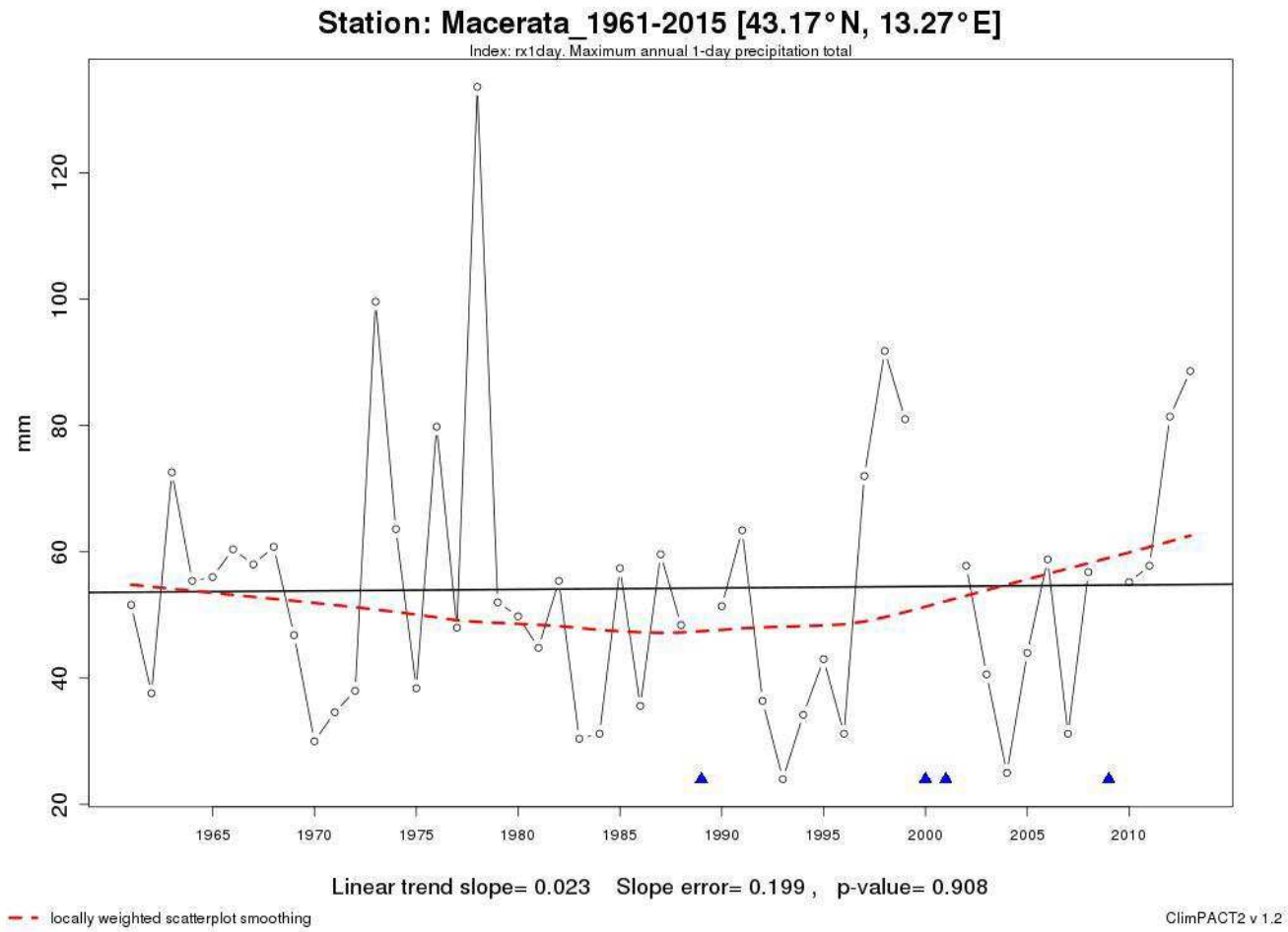

Figura 5a.1 – Andamento del massimo quantitativo di pioggia caduto nelle 24h.

Il trend relativo all'indice precipitazioni massime giornaliere annue (figura 5a.1) non mostra significative variazioni; oltretutto, la quasi totalità degli *outliers* più importanti si sono verificati tra il 1973 ed il 1978 – rispettivamente 100 e 130 mm/24h – con soli due fenomeni sopra gli 80 mm/24h dagli anni ’80. Questo a conferma della non incrementata quantità di precipitazione caduta nell’arco di brevi finestre temporali.

R95p (Very wet days)

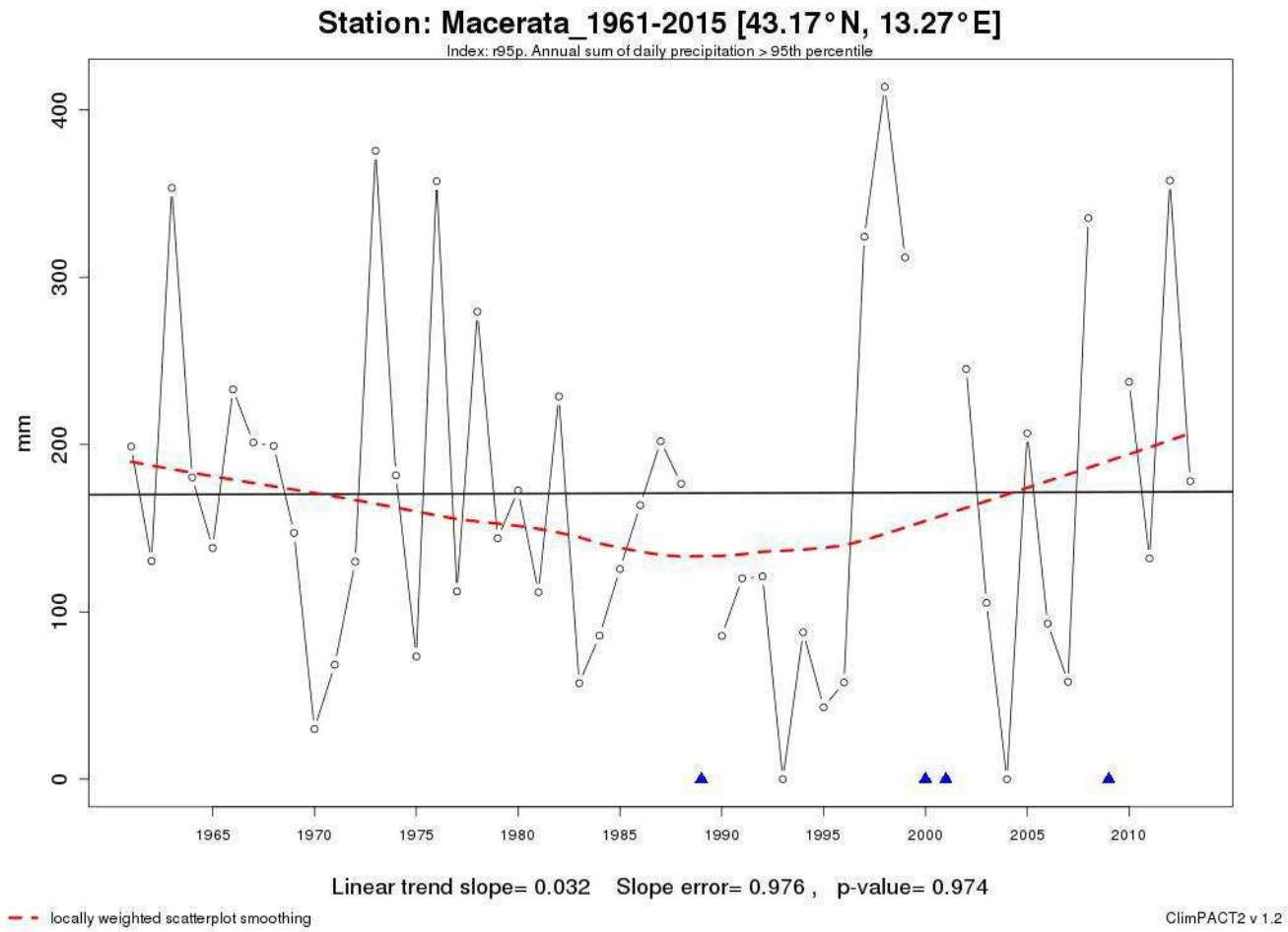

Figura 5a.2 – Andamento della somma annuale di precipitazione generata da precipitazioni superiori al 95° percentile.

Questo indice (precipitazione nei giorni molto piovosi, figura 5a.2) quantifica l'accumulo derivante da giorni aventi precipitazioni superiori al 95°percentile del trentennio di riferimento 1971-2000. Possiamo notare una netta somiglianza rispetto all'indice precedentemente considerato. Il segnale è complessivamente stabile con una ciclicità di ampiezza orientativamente attorno ai 20 anni dove l'interpolante polinomiale evidenzia simili valori che caratterizzano il primo ventennio ('61-'80) e l'ultimo ventennio ('96-'15).

SDII (Simple Daily Intensity Index)

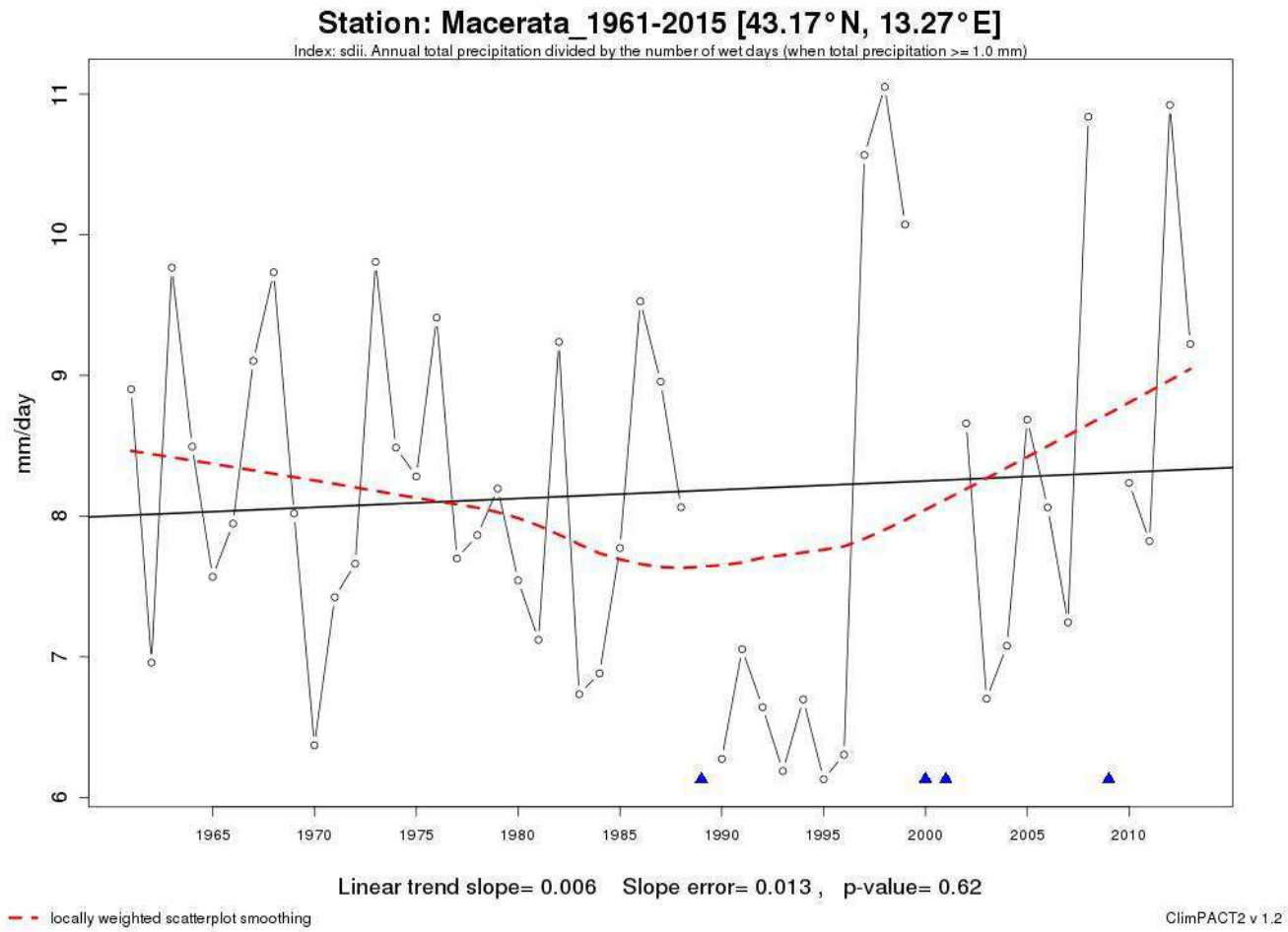

Figura 5a.3 – Andamento dell'intensità della precipitazione durante giorni piovosi (>1mm).

Questo indice di intensità di pioggia (figura 5a.3) quantifica l'intensità meteorica media giornaliera, dove la sommatoria annuale dell'accumulo giornaliero viene divisa per il numero di giorni nei quali la precipitazione si è manifestata. Può essere considerato quindi come l'intensità media della precipitazione caduta durante i giorni di pioggia. Il trend è in leggero aumento, di circa 0.006 mm/anno, pari a circa 0.33 mm nell'intero periodo che comunque non rappresenta un cambiamento statisticamente significativo (*p_value* = 0.62). Dalla retta interpolante polinomiale è di nuovo evidente un'oscillazione di tale parametro con lunghezza d'onda circa ventennale legata alla naturale variabilità climatica inter-annuale. Interessante infine notare come i 5 valori più elevati dell'intera serie siano racchiusi all'interno dell'ultimo ventennio.

CDD (Consecutive Dry Days)

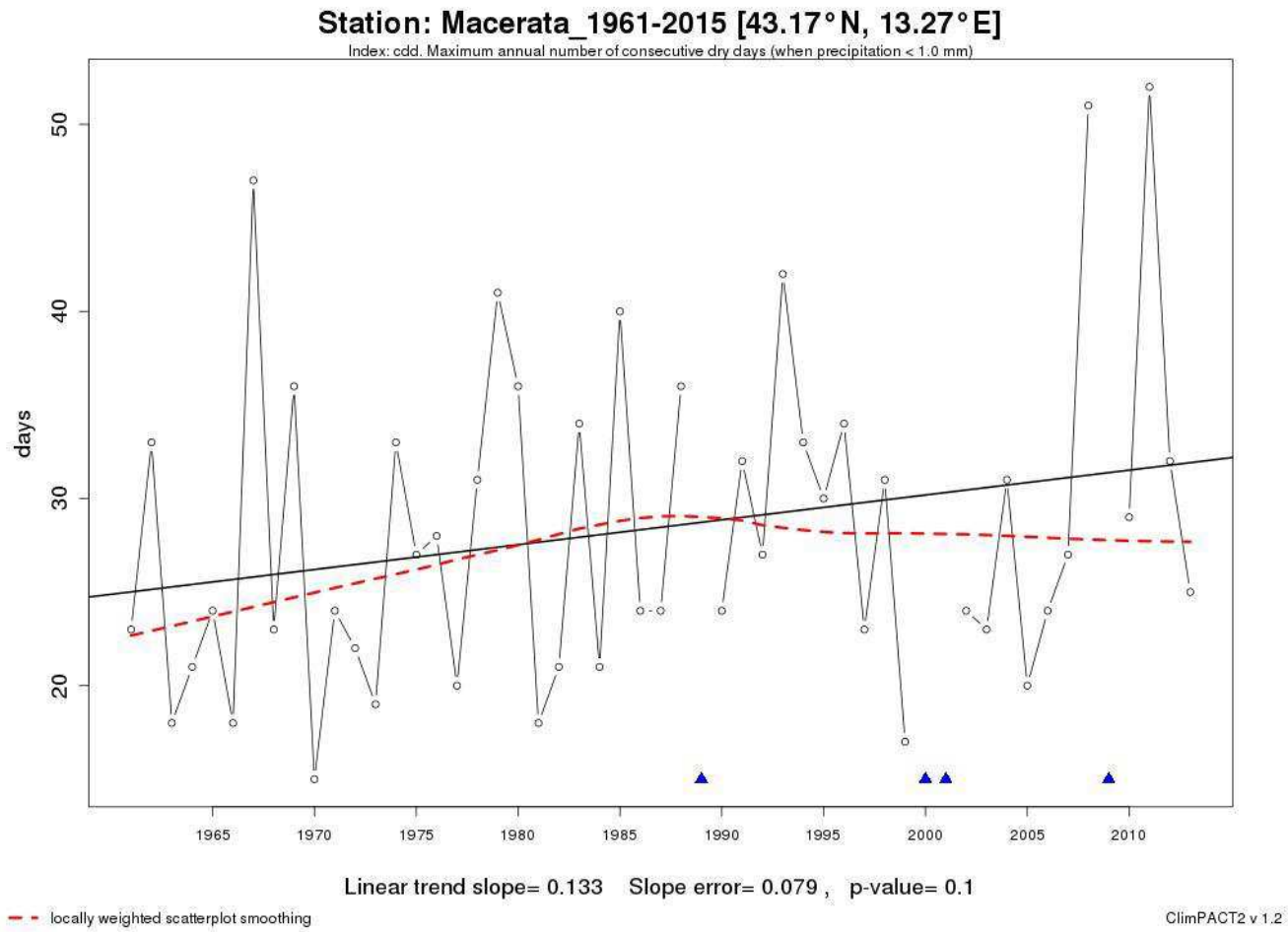

Figura 5a.4 – Andamento del numero massimo annuale di giorni secchi consecutivi.

Questo indice dei giorni non piovosi consecutivi (figura 5a.4) quantifica la lunghezza massima annuale dei periodi "secchi" e si rivela un ottimo indicatore del *climatic 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 segnale mostra un contenuto incremento, quantificabile in poco più di 7 giorni per l'intero periodo. Si passa da fasi siccitose estese temporalmente circa 25 giorni negli anni '60 ad oltre 30 negli ultimi anni. Rispetto all'indice precedentemente analizzato, si può vedere l'interpolante polinomiale mostrare un'onda con andamento simmetrico e di simile ampiezza.

R20 (Very heavy precipitation days)

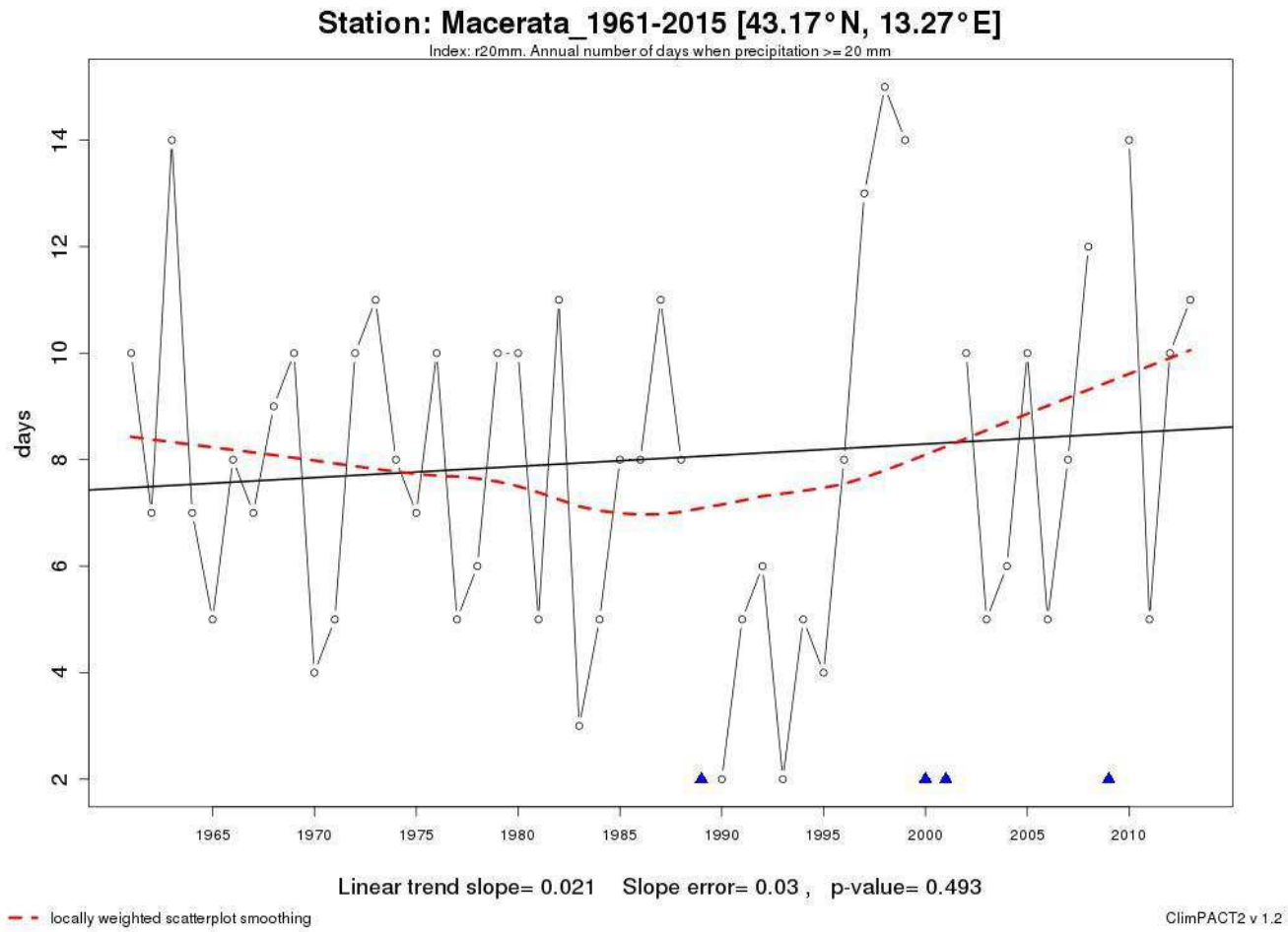

Figura 5a.5 – Andamento del numero di giorni/anno con precipitazione superiore ai 20 mm.

Tale indice (figura 5a.5) quantifica il numero annuale di giorni con precipitazioni abbondanti >20 mm. La tendenza complessiva mostra un incremento del segnale, seppur non significativo, quantificabile in circa 0.021 giorni/anno, pari a circa 1.1 giorni per l'intero periodo. Anche l'andamento di eventi particolarmente intensi segue l'oscillazione circa ventennale osservata per gli altri indici e quello per medie giornaliere analizzate nel capitolo precedente. Da notare infine anche in questo caso un'onda dell'interpolante polinomiale simmetrica al precedente indice. Un'analisi integrata degli ultimi tre indici mostrerebbe una lieve accelerazione del ciclo idrologico locale, con un allungamento dei periodi secchi ed eventi intensi, in particolare nell'ultimo ventennio (Trenberth et al. 2003; Giorgi et al. 2011). Ad ogni modo, i risultati non consentono di assegnare significatività statistica a tale processo, riconducibile quindi alla normale variabilità climatica.

5b Indici climatici Temperatura

Index	Definition	Units	Indices Climpact 2	Slope	STD of slope	p_value
FD0 (Frost Days)	Annual count of days when TN (daily minimum) < 0ºC	days	fd	-0.046	0.099	0.648
SU25 (Summer days)	Annual count of days when TX (daily maximum) > 25ºC	days	su	0.653	0.149	0
TR20 (Tropical nights)	Annual count of days when TN (daily minimum) > 20ºC	days	tr	0.542	0.134	0
TN10P (Cold nights)	Percentage of days when TN<10th percentile of the base period	%	tn10p	-0.084	0.044	0.06
TN90P (Warm nights)	Percentage of days when TN>90th percentile of the base period	%	tn90p	0.199	0.054	0.001
TX10P (Cold days)	Percentage of days when TX<10th percentile of the base period	%	tx10p	-0.097	0.035	0.009
TX90P (Warm days)	Percentage of days when TN>90th percentile of the base period	%	tx90p	0.341	0.078	0
SU30* (Hot days)	Annual count when TX ≥ 30°C	days	TXge30	0.797	0.175	0
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	0.616	0.183	0.002

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

La maggior parte degli indici relativi alle temperature minime e massime risultano statisticamente significativi, con valori *p_value* nettamente < 0.05; si specifica che i valori di *p_value* nella precedente tabella pari a "0" indicano in realtà un valore inferiore ad una certa soglia che viene così approssimata.

L'indice giorni di gelo (FD0) segna una tendenza alla diminuzione, dunque una riduzione di circa 2 -

3 giornate nell'intero periodo con temperature minime < 0 °C. Tale trend non mostra comunque significatività statistica con un *p_value* di 0.65.
Più significativa risulta la tendenza di aumento dell'indice di giorni estivi (SU25), circa 7 giornate in più ogni 10 anni di giornate con temperature massime superiori a 25 °C. Segna una tendenza in aumento anche l'indice di notti tropicali (TR20), circa 6 ogni 10 anni.
La tendenza dei giorni freddi (TX10P) segna un significativo calo leggermente più intenso di quello che caratterizza le notti fredde (TN10P), ad ogni modo anch'esso statisticamente significativo.
Un aumento deciso viene mostrato dall'indice dei giorni caldi (TX90P) con una percentuale di occorrenza annuale che passa dal 5 al 20% durante tutto l'arco di tempo considerato. Un significativo incremento riguarda anche le notti calde (TN90P), la cui frequenza, su base annua, è praticamente raddoppiata. Un altro indice interessante è riferito all'andamento dei giorni molto caldi (SU30), ovvero giornate con temperatura massima maggiore o uguale di 30°C; si desume che dal 1961 al 2015 tali giornate siano aumentate di circa 8 ogni 10 anni, vale dire quasi 44 giorni in più in 55 anni.
Infine si riporta un ultimo indice di stima dell'andamento della frequenza delle ondate di calore (WSDI); interessante notare come tale indice sia rapidamente in crescita dagli anni '90.

FD0 (Frost Days)

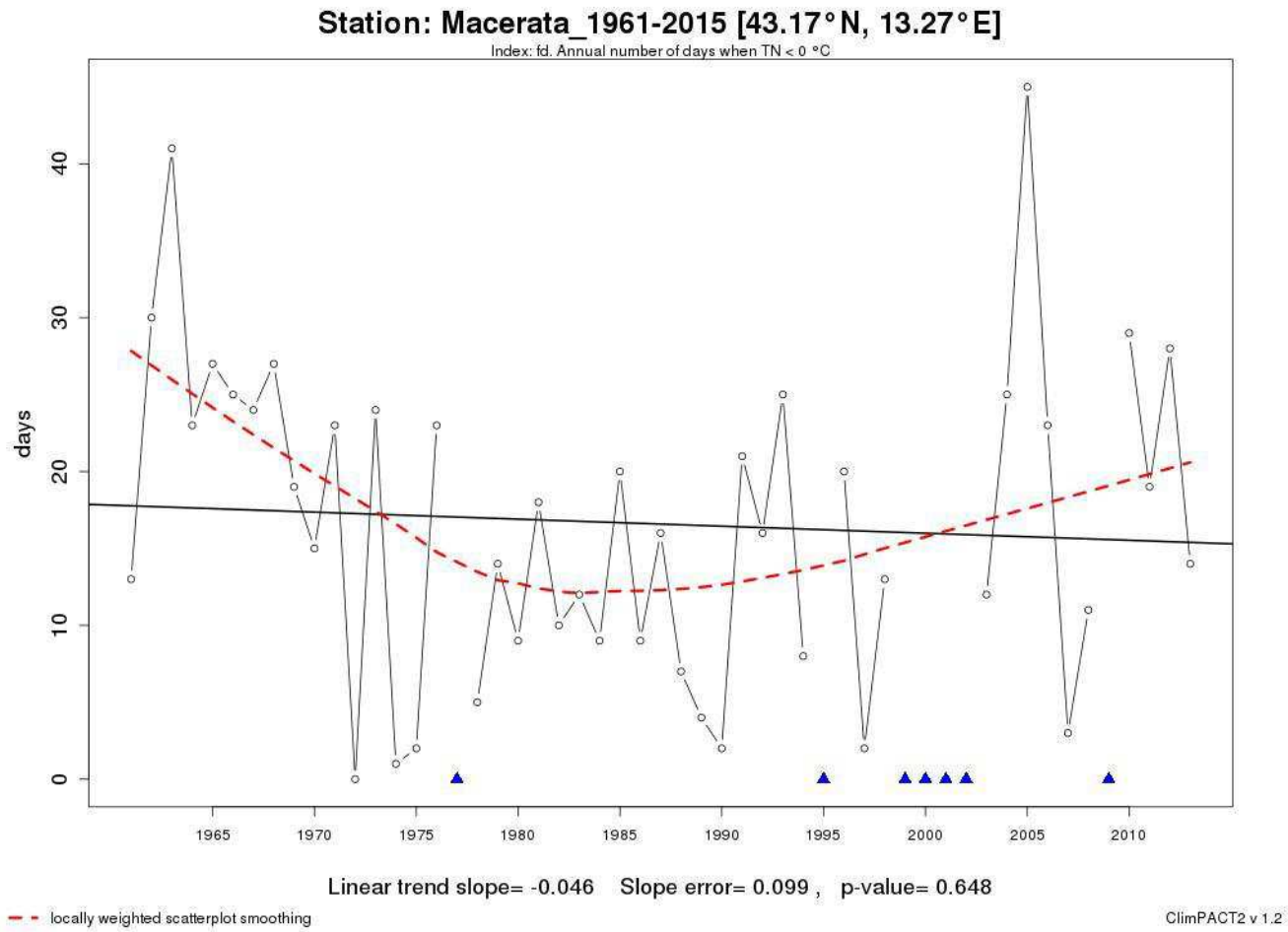

Figura 5b.1 – Andamento del numero annuo dei giorni di gelo (con Tm < 0°C).

Il trend relativo al numero di giorni con temperatura minima inferiore agli 0 °C (giorni di gelo, figura 5b.1) mostra un decremento seppur non statisticamente significativo (*p_value* = 0.65). Attraverso la retta di interpolazione polinomiale possiamo notare un punto di flesso in corrispondenza del consistente riscaldamento verificatosi negli anni ’70 e ‘90. Durante questa fase si ebbero solitamente non più di 10 giorni di gelo/anno.

SU25 (Summer days)

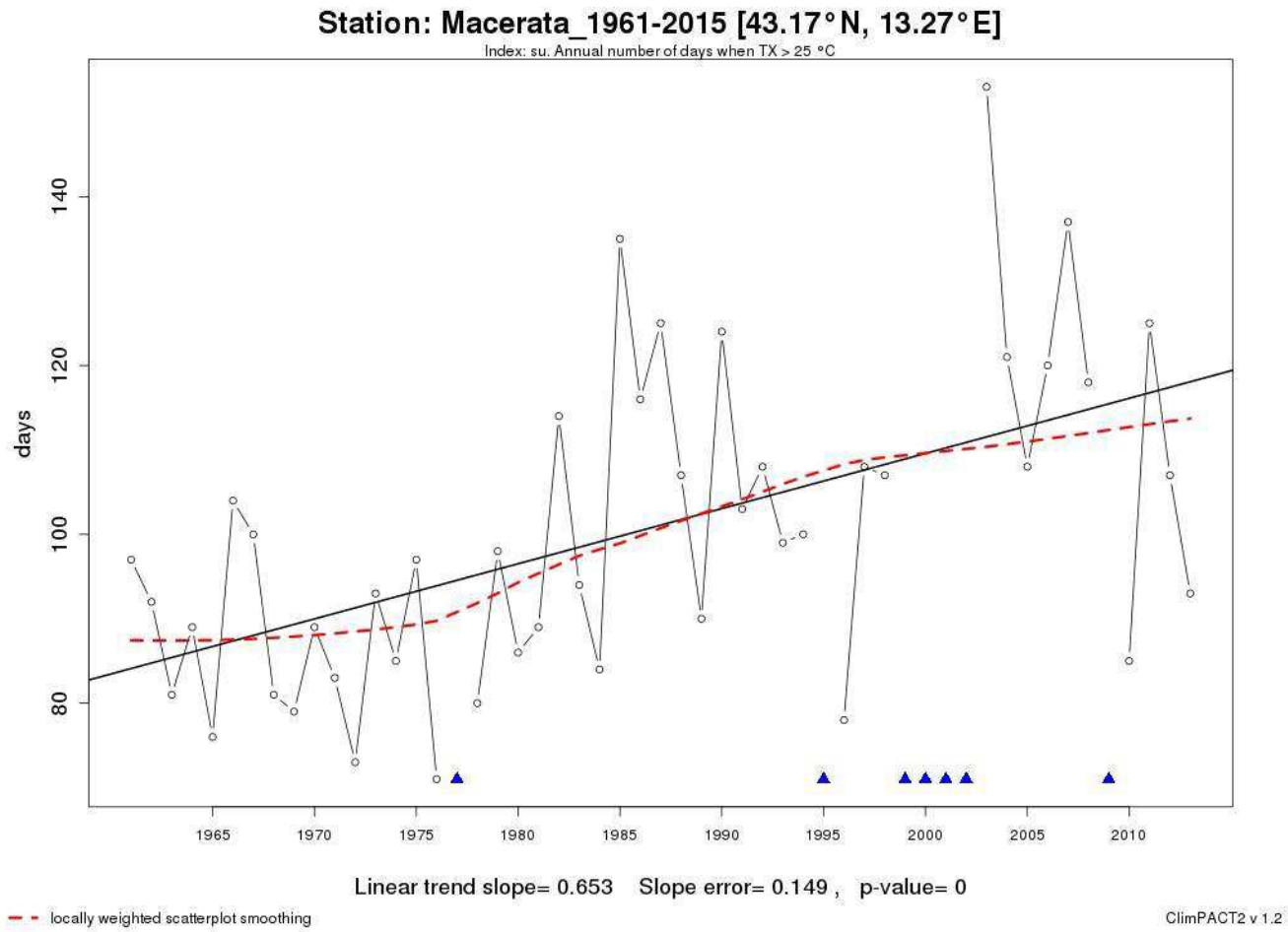

Figura 5b.2 – Andamento del numero annuo giornate estive (con Tx > 25 °C).

Contrariamente ai giorni di gelo, i giorni estivi caratterizzati da Tx > di 25 °C mostrano un segnale in deciso aumento (0.6 giorni/anno), statisticamente significativo con pendenza della retta interpolante pari a 0.65 e un *p_value* approssimato a 0 (figura 5b.2). Anche con un consistente numero di dati mancanti relativi il primo decennio degli anni ’00, si può notare come si sia manifestata una più ampia oscillazione inter-annuale dopo la metà degli anni ’80. Si può infine notare l’*outlier* riferito all’anno 2003 svettare con un numero di giorni estivi ≈ 150.

TR20 (Tropical nights)

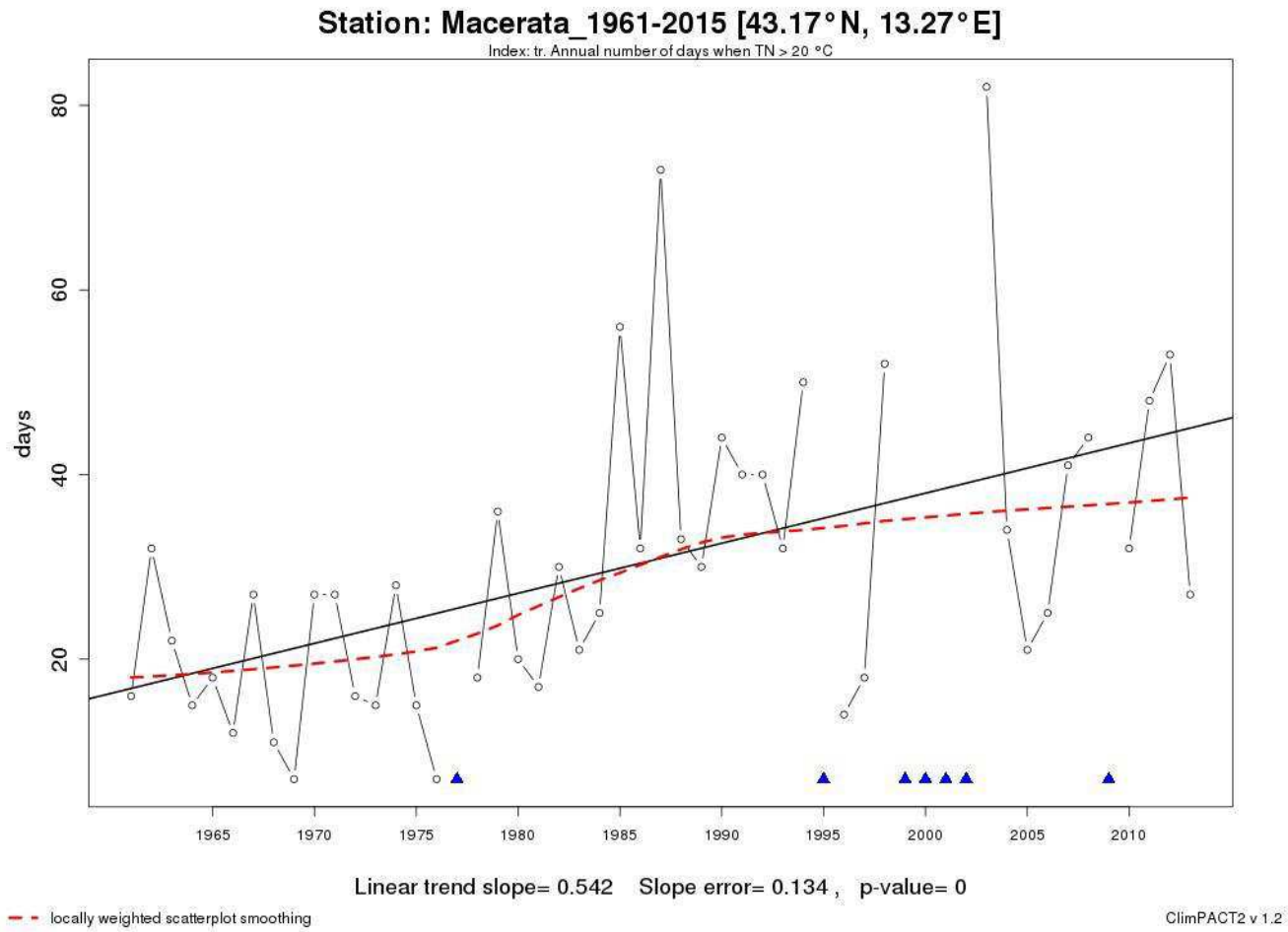

Figura 5b.3 – Andamento del numero annuo notti tropicali (con Tn >20 °C).

Un trend del tutto simile (*slope* = 0.54) caratterizza anche il numero annuale di notti tropicali (figura 5b.3) definite come giorni nei quali la Tn non scende sotto i 20 °C. Spesso causa di un mancato rilascio notturno del calore accumulato durante la giornata (in special modo se al cospetto di un'umidità relativa elevata), rappresenta un utile indice bio-climatico da considerare per lo studio dell'impatto delle ondate di calore sulla salute umana. L'incremento di tale parametro risulta deciso (*p_value* = 0) dove le 20 notti tropicali caratterizzanti gli anni '60 e '70 sono passate mediamente a 40 dalla metà degli anni '80 con un incremento annuo di 0.5 notti tropicali/anno.

TN10P (Cold nights)

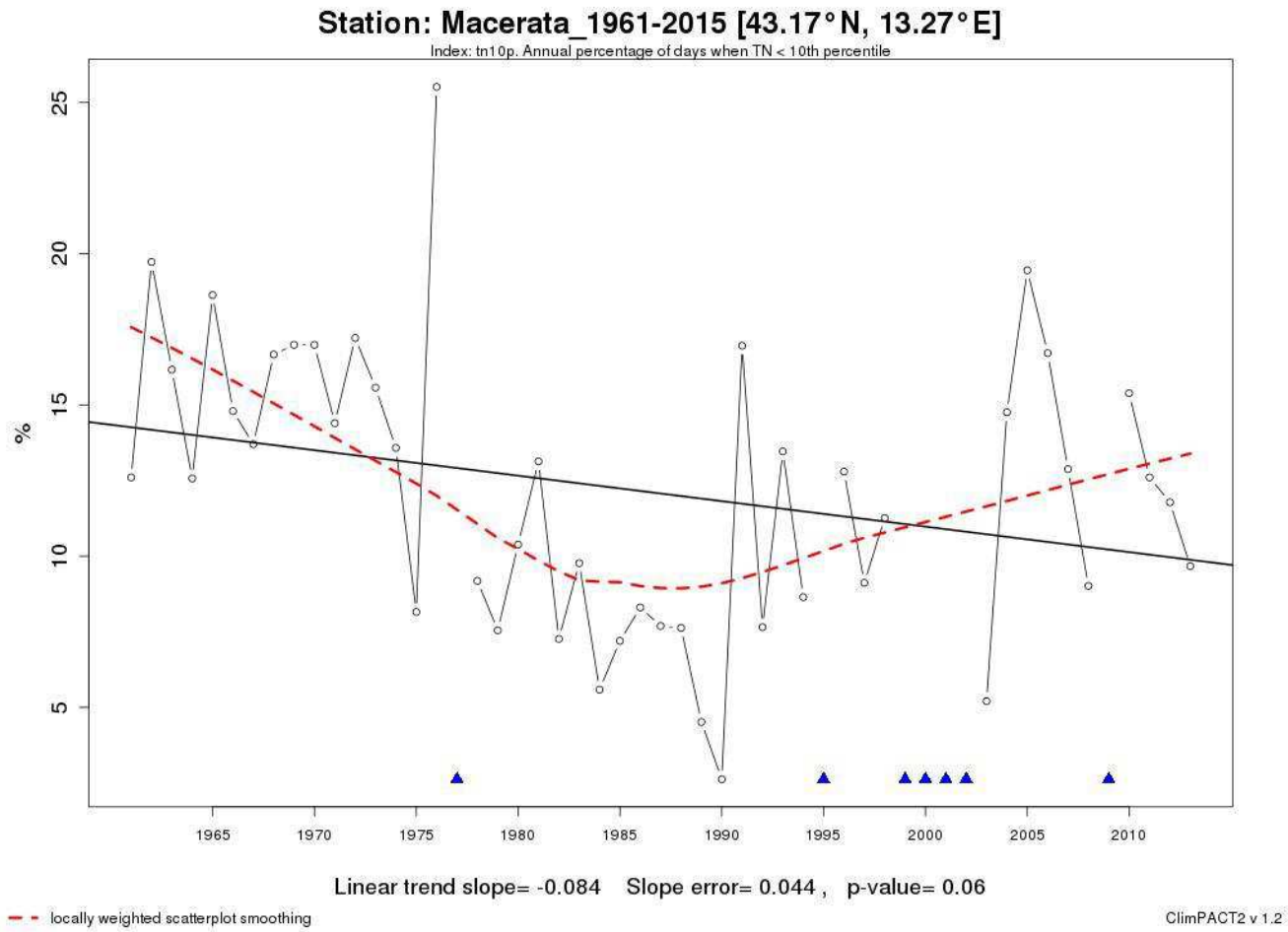

Figura 5b.4 – Andamento del numero annuo (%) notti fredde (con Tn < 10° percentile trentennio di riferimento).

Il trend relativo le notti fredde (figura 5b.4), notti dove la temperatura minima è inferiore al 10° percentile del trentennio di riferimento, con una *slope* di -0.084, testimonia un decremento percentuale appena al di fuori della significatività statistica con un *p_value* (0.06) appena maggiore del livello di confidenza del test (0.05).

TN90P (Warm nights)

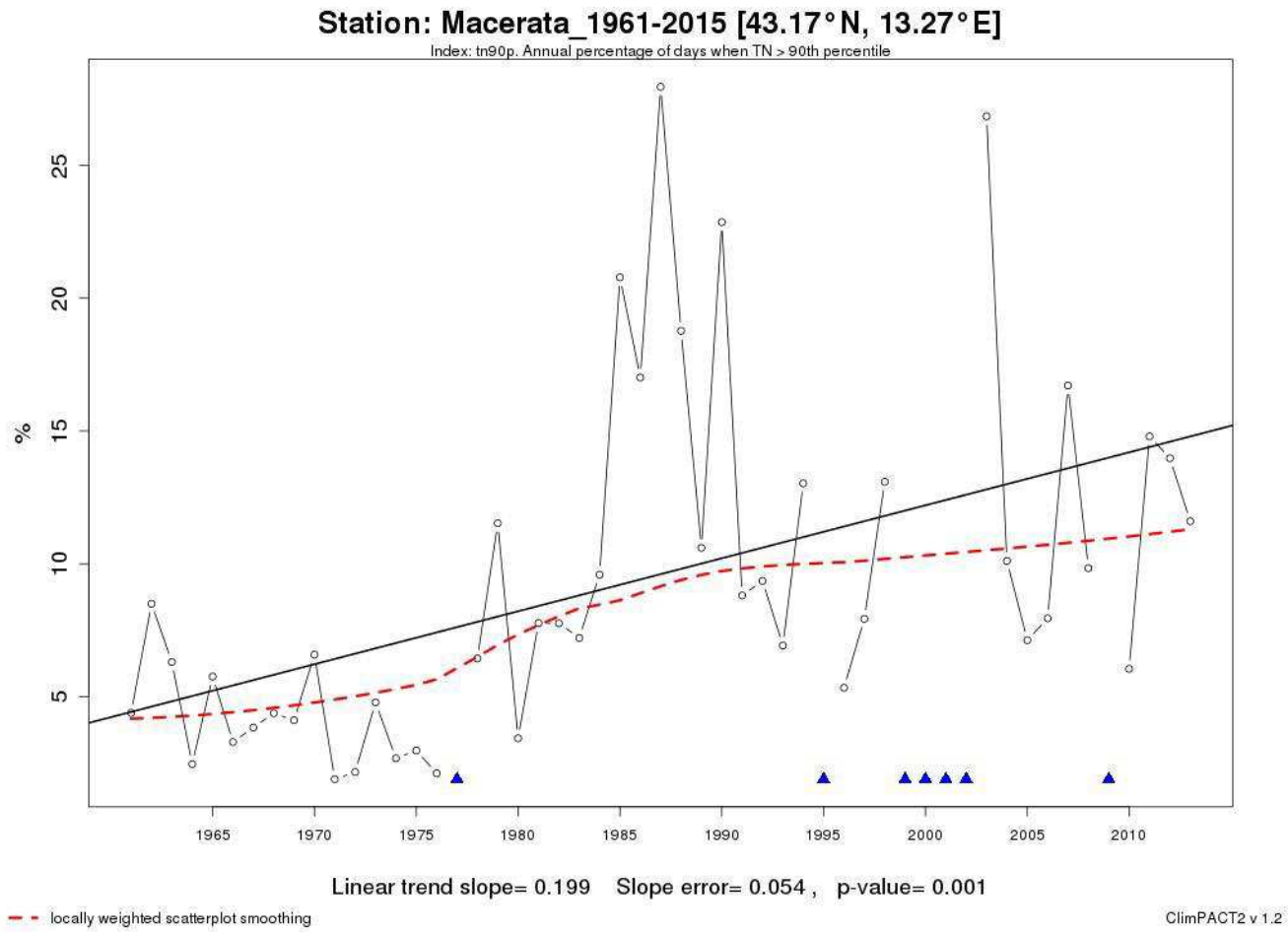

Figura 5b.5 – Andamento del numero annuo (%) notti calde (con Tn > 90° percentile trentennio di riferimento).

L'indice speculare delle notti calde, ovvero giornate con temperatura minima superiore al 90° percentile del periodo di riferimento, è risultato in significativo aumento equivalente a ≈ +2 notti calde/anno (figura 5b.5).

Si assiste ad un deciso incremento di tale fenomenologia, orientativamente triplicata rispetto ai primi anni della serie storica.

TX10P (Cold days)

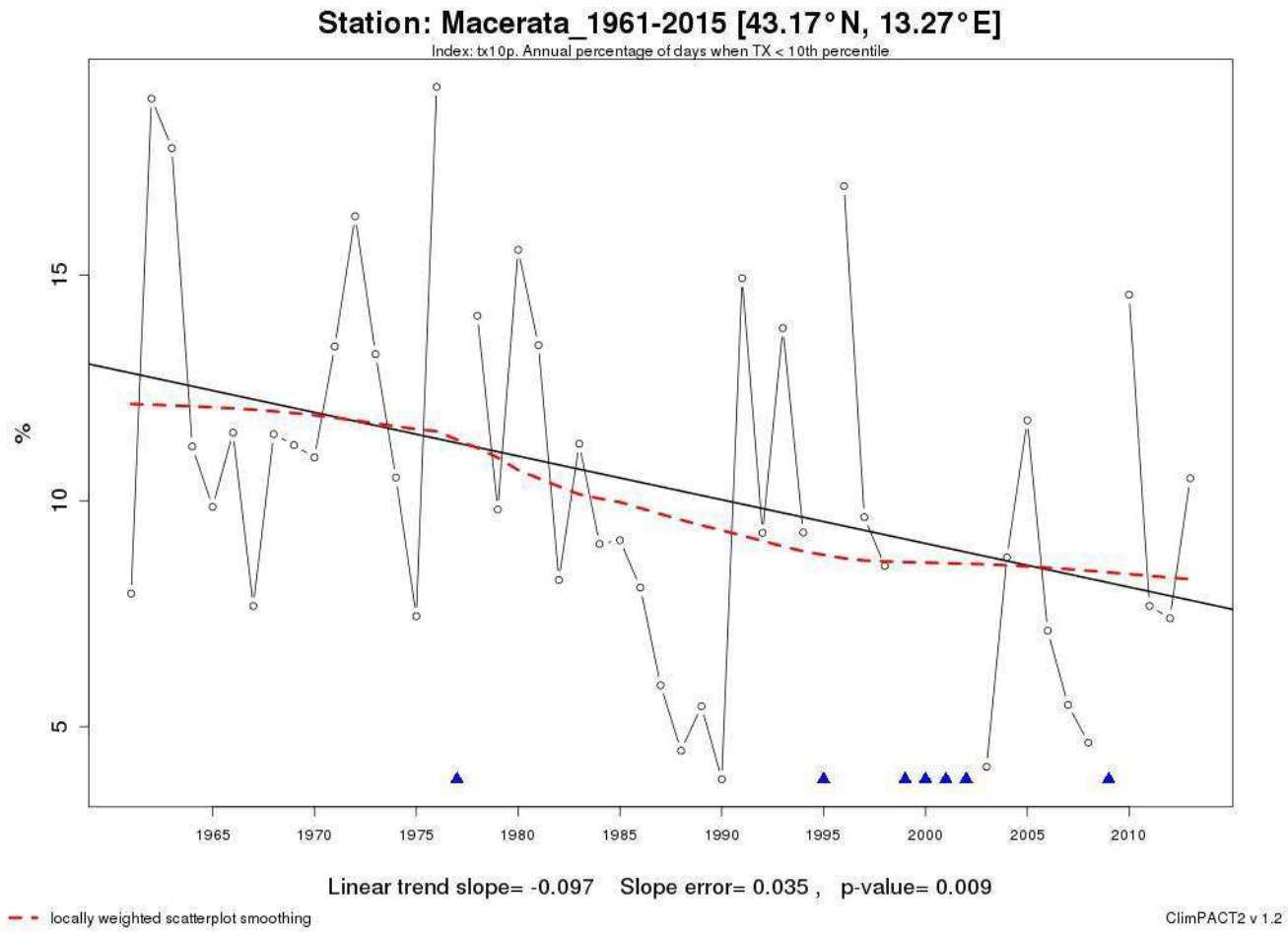

Figura 5b.6 – Andamento del numero annuo (%) giornate fredde (con Tx < 10° percentile trentennio di riferimento).

L'andamento dei giorni freddi mostra un calo nettamente significativo (*p_value* = 0.009). Si può notare una stabilità dagli anni '60 all'inizio degli anni '80 che lascia spazio a un brusco calo del parametro in particolare dopo la metà degli anni '80. Dopo una leggera ripresa si può osservare un secondo picco negativo a metà degli anni '00, con percentuali annue di giornate fredde attorno al 5%. Interessante notare come lo storico evento di freddo del febbraio 2012 spicchi nel contesto dell'ultimo ventennio, ma allo stesso tempo rappresenti un valore non eccezionale se contestualizzato nel primo ventennio della serie storica.

TX90P (Warm days)

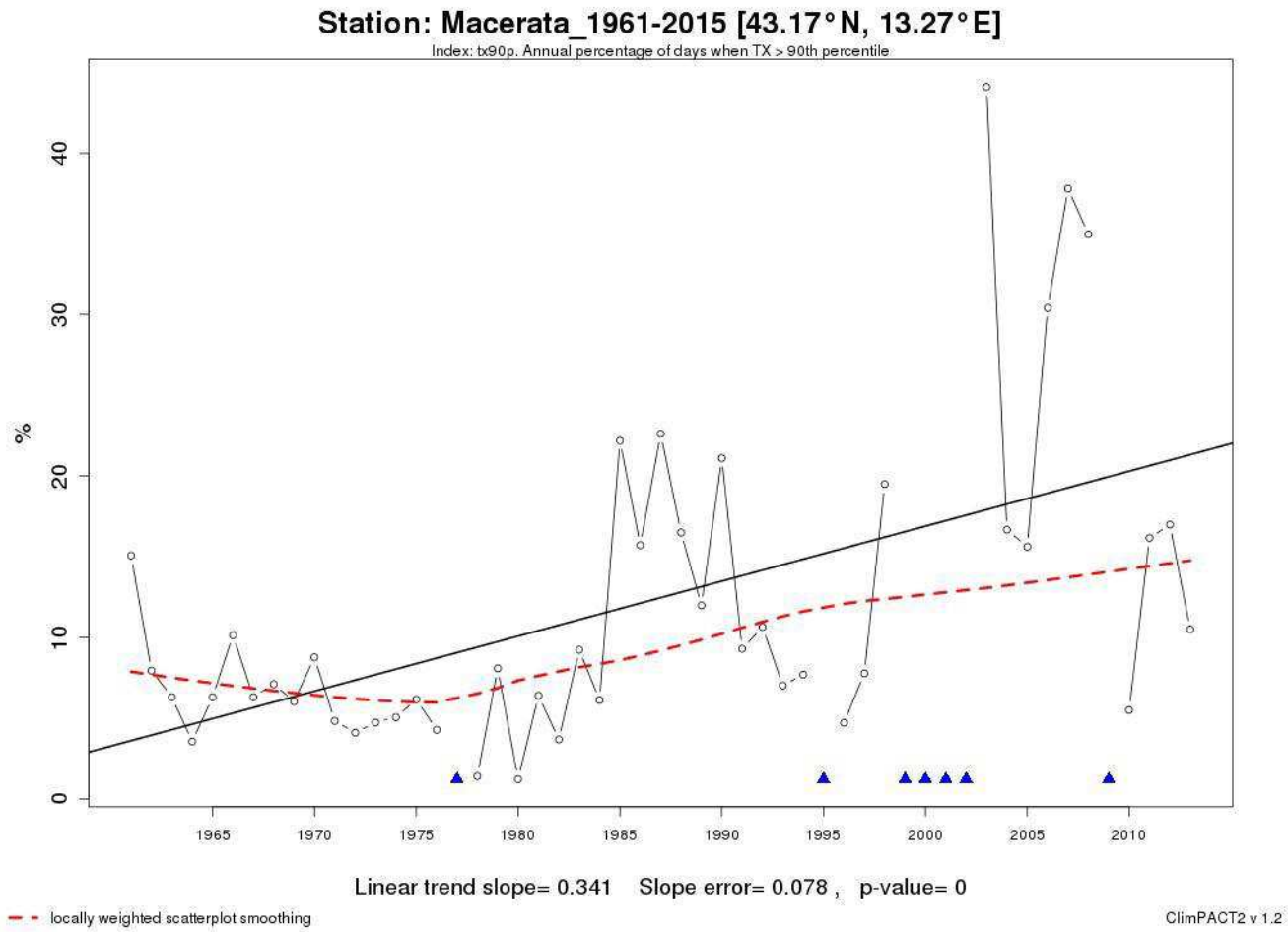

Figura 5b.7 – Andamento del numero annuo (%) giornate clade (con Tx > 90° percentile trentennio di riferimento).

Contrariamente ai giorni freddi, possiamo vedere un incremento deciso per le giornate calde, anche in questo caso con dei picchi sempre più consistenti dalla seconda metà degli anni ’80 e a cavallo del decennio ’00. Si passa da una percentuale annua di giornate calde attorno al 5% durante gli anni ’60 all’attuale 20%, con un aumento complessivo attorno al 18%.
Grazie all’utilizzo di indici che applicano soglie ai percentili piuttosto che a valori fisici delle variabili possiamo confrontare gli incrementi relativi alle Tn e Tx, constatando come siano le Tx a mostrare una maggiore diminuzione della frequenza di valori bassi e un maggior incremento della frequenza di valori alti.

WSDI (Warm Spell Duration Index)

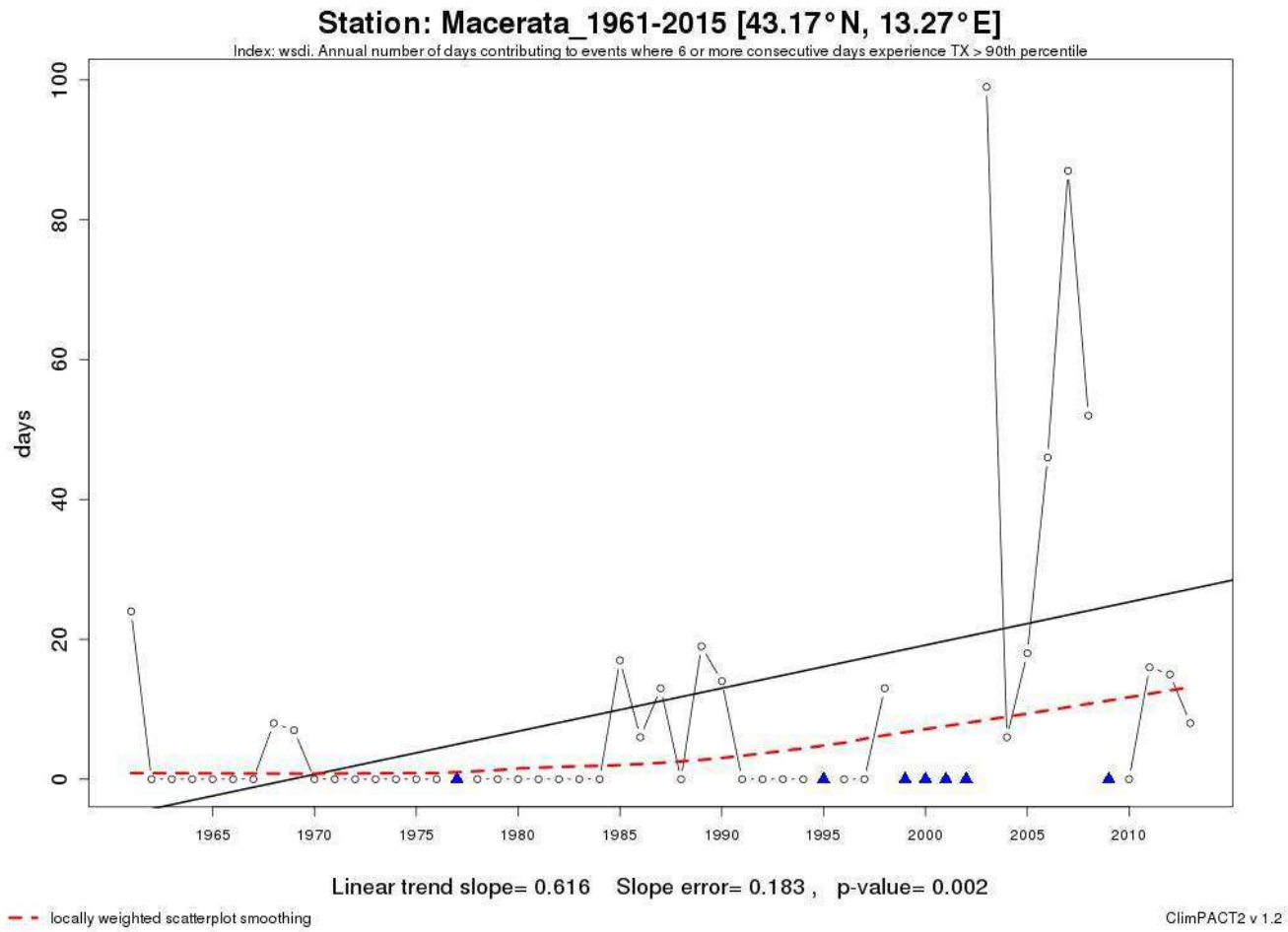

Figura 5b.8 – Andamento del numero annuo di giorni consecutivi (>= 6) caldi (con Tx > 90° percentile trentennio di riferimento).

Per quanto riguarda la durata di periodi con temperature particolarmente elevate (Tx > 90° percentile) si riporta il trend dell'indice relativo: il numero annuale di giorni consecutivi (almeno 6) con Tx > 90° percentile del periodo di riferimento (figura 5b.8). A tal riguardo, con una *slope* di 0.616 e *p_value* = 0.002 il trend è risultato significativamente in aumento, sostanzialmente grazie a 4 *outliers* concentrati dall'anno 2003 in poi.

SU30* (Hot days)

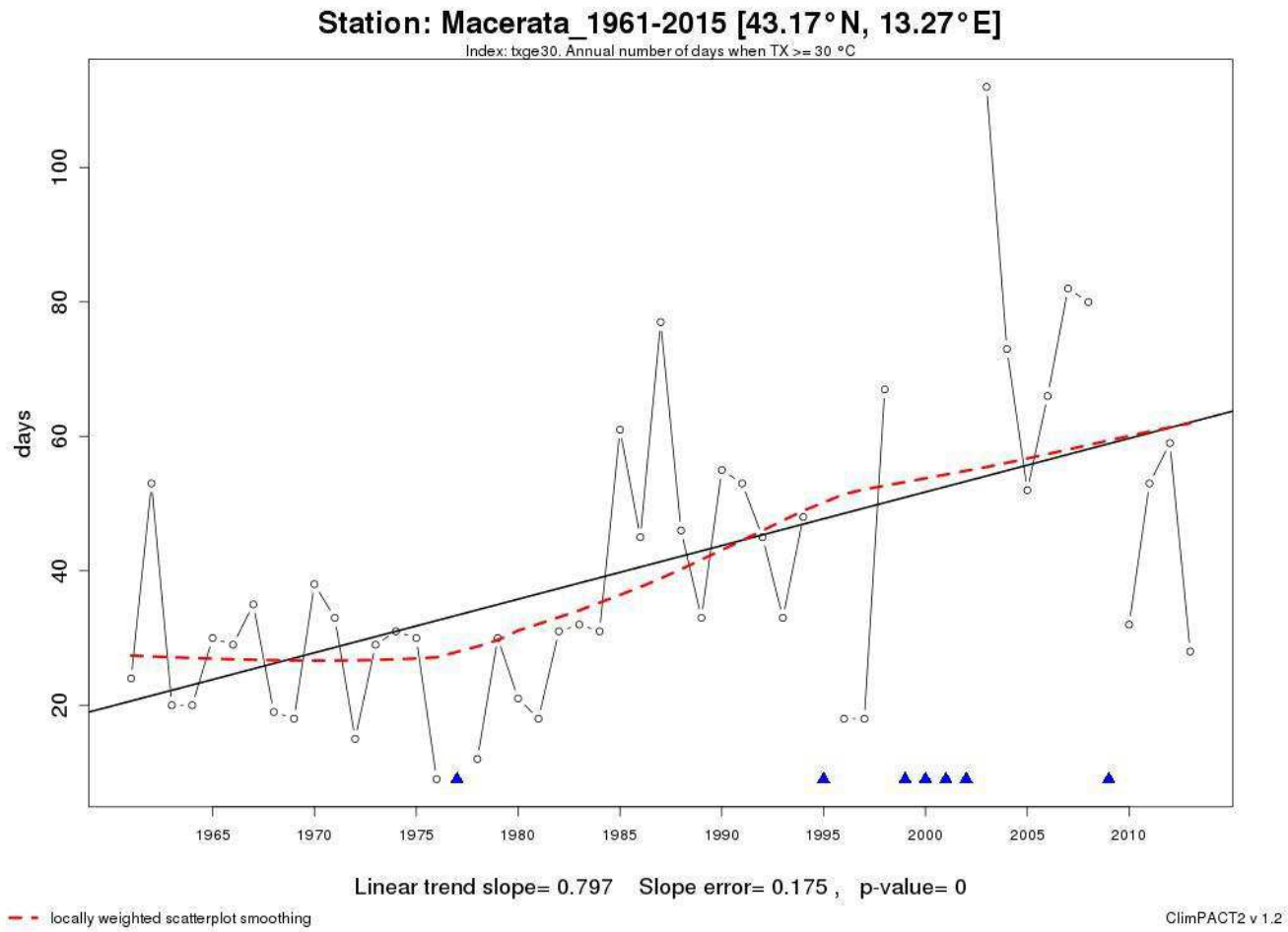

Figura 5b.9 – Andamento del numero annuo di giorni molto caldi (con Tx > 30 °C).

L'ultimo indice relativo alle temperature riporta l'evoluzione temporale del numero di giorni caratterizzati da Tx > 30 °C (figura 5b.9). Con un incremento di 0.8 giorni/anno (*slope* = 0.797) l'indice risulta significativamente in aumento. Confrontando il numero di giornate estive (Tx > 25 °C, con *slope* = 0.65) con quello delle giornate molto calde (Tx ≥ 30 °C) possiamo vedere come quest'ultimo indice abbia fatto segnare l'incremento più rilevante.

I risultati emersi dalla serie di Macerata, in linea con quello che si riscontra a scala nazionale e di bacino del Mediterraneo, evidenziano una chiara tendenza al riscaldamento, con un aumento del valore degli indici che descrivono intensità e durata di estremi di caldo (SU25, TN90, TX90, WSDI) e del numero di notti tropicali (TR20). Temporalmente si può individuare la metà degli anni '80 come "punto di rottura" (Toreti e Desiato, 2007), con un forte incremento della frequenza di anomalie positive relative non solo agli indici estremi ma anche ai valori medi analizzati nel precedente capitolo. Coerentemente, il numero di giorni con gelo (FD0), il numero di notti fredde (TN10P) e il numero di giornate fredde (TN10P) mostrano una prevalenza di anomalie negative dall'inizio degli

anni '80 ad oggi. Ad ogni modo l'intensità della diminuzione degli estremi freddi è minore all'incremento degli estremi caldi.

Bibliografia

Desiato F., Lena F. e Toreti A., (2007). SCIA: a system for a better knowlede of the Italian climate, Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 48, n. 3, 351-358.

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.