



LIFE SEC ADAPT PROJECT

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

REGIONAL BASELINE ASSESSMENT REPORT





Region of Marche - Italy

PROGRAMME	LIFE 2014 – 2020 – Climate Change Adaptation
PROJECT ACRONYM	LIFE SEC ADAPT
PROJECT CODE	LIFE14/CCA/IT/00036
TITLE	Regional Baseline Assessment Report
ACTION/TASK RELATED	A.1
DATE OF DELIVERY	13/12/2016
VERSION	Final
AUTHOR(S)	G. Fioravanti, E. Piervitali, W. Perconti, P. Frascchetti, F. Desiato





Indice	
Executive summary.....	4
Riassunto	7
1. Introduzione	10
1.1 Obiettivo del progetto Life Sec Adapt project	10
1.2 Azione A1: definizione del contesto climatico a livello regionale	10
2. Contesto geografico e climatologico.....	11
3. Analisi del clima passato e presente	13
3.1. Controllo di qualità dei dati e selezione delle serie: approccio metodologico per l'analisi dei dati... 13	
3.2 Trend climatici	16
a. Precipitazione.....	16
b. Temperatura.....	17
3.3 Indici estremi.....	19
a. Precipitazione.....	19
b. Temperatura.....	20
4. Proiezioni climatiche future	21
4.1 Dati e metodo di analisi.....	21
4.1 Variazione dei valori medi.....	22
a. Precipitazione.....	22
b. Temperatura.....	23
4.2 Variazione degli indici estremi	25
a. Precipitazione.....	25
b. Temperatura.....	26
5. Figure.....	28
Bibliografia.....	49





Executive summary

The assessment of climate change impacts and the development of adaptation strategy and implementation plans require information on both future climate and current climate trends. The analysis of long time series of climatic variables allows to evaluate ongoing variations and their significance, while climate change assessment for future period is based on climate model projections.

Past and current climate trends

Past and current climatic variations were evaluated using a set of stations in the region, with temperature (minimum and maximum) and precipitation data available from 1961 to 2015. The analysis was performed by the Municipalities of Marche (partners of the Project), using a common methodology. Both the mean and the extreme values of temperature and precipitation were analysed, since climatic extremes are important indicators for the assessment of climatic changes, having a wide range of negative impacts on environment and human health.

Climatic extremes were examined using a subset of indices, selected from the ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) core set, defined by the CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection (Peterson et al., 2001) of WMO and the ET SCI indices (Expert Team on Sector-specific Climate Indices).

The analysis of the annual total precipitation do not highlights a clear signal of increase or reduction: some series indicate weak increasing trends while some others show a slight decrease, with all the estimated trends statistically non significant. The seasonal analysis shows a prevalence of non significant trends. The tendency to a precipitation increase is observed in spring, since 7 stations out of 8 show positive trends, while a decrease is shown in summer for 7 stations out of 8. However the estimated trends are statistically significant only for Ascoli Piceno, in spring(+ 8.7% / 10 years) and for Urbino, in summer (-9.0% / 10 years).

Unlike the precipitation, the analysis of temperature series (mean, minimum, maximum) indicates a clear warming signal. Almost all the examined series show increasing trends statistically significant. The increase of mean annual temperature ranges from 0.15 °C/10 years detected at Fabriano to 0.47°C/10 years at Urbino. The seasonal analysis shows the largest increases in summer temperature and the smallest ones in winter, according to the results obtained for the Italian series (Desiato et al., 2016).

With reference to the analysis of the extremes, precipitation indices do not highlight clear signals of changes in the frequency and intensity of precipitation during the examined period.





Increasing trends of SDII index (daily precipitation intensity) and CDD (maximum number of consecutive dry days) are detected for all the analysed series, however they are statistically significant only for 3 out of 8 stations for the SDII and for one station for CDD index. Temperature extremes confirm the clear warming tendency observed for the mean values, with an increase of the indices describing extremes of heat and a reduction of extremes of cold. The estimated trends are mostly statistically significant. In general, the results show a strong reduction of frost days and cold nights and days; conversely, strong increases of hot days, tropical nights, summer days, heat waves duration index and very hot days (with temperatures exceeding 30° C) are generally observed.

Future Climate projections

Future climate projections over the Marche region were selected and analysed, on the base of four regional climate models (RCMs) taking part in Med-CORDEX (www.medcordex.eu), an international research initiative focused on the Mediterranean region. The evolution of the main climate parameters (minimum, maximum and mean temperature, precipitation) over the region was examined, in the next decades of 21st century. The model outputs follow two different socio-economic and greenhouse emissions scenarios, as defined by the IPCC, which respectively represent an intermediate (RCP4.5) and a high emission scenario (RCP8.5). Daily data covering the Marche region were extracted from RCM outputs and aggregated to annual and seasonal averages. Both the mean and the extreme values of temperature and precipitation were analysed, using the same subset of ETCCDI and ET SCI indices used for past and current analysis. Future climate changes were evaluated as differences between the projected value of a climatic variable and its corresponding mean in the reference period 1971-2000; it allows to compare climatic signals from different models, independently by their ability to reproduce absolute values.

With reference to precipitation projections, the expected climate change signal is not very clear. Under RCP4.5 scenario, three out of the four selected models forecast a reduction of annual precipitation in a century (from -33 to -83 mm); conversely, one model predict an increase of 57 mm. As result, the ensemble mean shows a weak decrease of annual precipitation of 26 mm. Overall, the range of the projected variations goes from -11% to +5%, resulting in a decrease of the ensemble mean of 3%. Following the RCP8.5 scenario, the range of model projections enhances, going from a reduction of 161 mm (-25%) to an increase of 113 mm (10%); the ensemble mean shows a decrease of 56 mm (7%).

Seasonal precipitation results indicate a weak reduction in spring, summer and autumn, whereas in winter wetter conditions are estimated compared to the 1971-2000 base period under RCP4.5 scenario.





With reference to temperature, all models highlights a general increase for 21st century. The average temperature increase is estimated between 1.7 and 3.1 °C in a century, under RCP4.5 scenario and between 3.4 and 5.3 °C under RCP8.5 scenario. The ensemble mean (average of the four models) shows positive trends of 0.2 °C / 10 years for RCP4.5 scenario and 0.4 °C / 10 years for RCP8.5.

Positive temperature changes are expected in all seasons. The strongest variation of mean temperature is projected in summer, ranging from 2.3 to 3.6 °C in a century under RCP4.5 scenario and from 4.0 in 7.0 °C under RCP8.5, while the weakest change is expected in spring, with an increase from 1.3 e 2.7 °C for RCP4.5 scenario and from 2.7 e 4.9 °C for RCP8.5.

The analysis of future extreme climatic indices show the following results.

Projections of the precipitation indices exhibit a general tendency to less frequent and more intense precipitation events, however, the expected changes are generally weak or moderate. Projections of the extreme temperature indices confirm the warming tendency predicted for mean values, showing significant variations. All models agree to predict a future reduction of frost days and an increase of tropical nights, summer days and heat waves, however they show significant differences in the magnitude of the expected changes. Climate projections by 2061–2090 highlight a regional mean increase of tropical nights from 15 to 33 days under RCP4.5 scenario and from 24 to 59 days under RCP8.5. Similarly, consistent increases of summer days and heat waves are expected: the projected mean changes of summer days range between 22 and 45 days for RCP4.5 scenario and from 41 to 69 days for RCP8.5, while the increases of heat waves range from 23 to 90 days for RCP4.5 scenario and from 56 to 176 days for RCP8.5. Indeed, a strong reduction of frost days is estimated for 2061-2090, with a mean regional decrease ranging from 7 to 31 days under RCP4.5 and from 12 to 41 days under RCP8.5 scenario.





Riassunto

L'osservazione delle variazioni climatiche del passato recente e in corso e la stima di quelle future costituiscono il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti e alla definizione delle strategie e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici. La conoscenza delle variazioni del clima passato e presente si fonda sulle osservazioni e sull'applicazioni di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima dei trend, quella del clima futuro si basa invece sulle proiezioni dei modelli climatici.

Trend climatici passati e in corso

Per la stima delle variazioni climatiche passate e in corso è stato selezionato un set di stazioni che ricadono nel territorio della regione Marche, con disponibilità di dati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione dal 1961 al 2015. Le analisi, elaborate dai Comuni marchigiani partner del Progetto, sono state effettuate sulla base di una metodologia condivisa. Sono stati esaminati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione; proprio la conoscenza degli estremi meteorologici e delle loro variazioni è infatti particolarmente rilevante per la valutazione dei cambiamenti climatici, a causa degli impatti che essi producono sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Gli indici estremi esaminati sono stati selezionati da un più ampio set di indici definiti a livello internazionale dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) del CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection (Peterson et al., 2001) del WMO e dall'Expert Team on Sector-specific Climate Indices (ETSCI).

L'analisi delle serie di precipitazione cumulata annuale indica in generale deboli trend in aumento per alcune serie e in diminuzione in altre, tutti statisticamente non significativi. Anche a livello stagionale i trend sono prevalentemente non significativi. Si può osservare una tendenza all'aumento di precipitazione in primavera per 7 stazioni su 8, tuttavia un unico trend risulta statisticamente significativo (Ascoli Piceno, +8.7%/10 anni); una tendenza alla diminuzione si osserva invece in estate, con l'unico trend significativo nella stazione di Urbino (-9.0%/10 anni).

A differenza della precipitazione, l'analisi delle serie di temperatura (media, minima, massima) mostra un chiaro segnale di riscaldamento, con trend generalmente in aumento e statisticamente significativi. L'incremento della temperatura media annuale varia da 0.15°C/10 anni stimato nella stazione di Fabriano a 0.47°C/10 anni a Urbino. L'analisi stagionale mostra gli incrementi più forti di temperatura in estate e quelli più modesti in inverno, confermando quanto osservato a livello nazionale (Desiato et al., 2016).

Per quanto riguarda l'analisi degli estremi, complessivamente dagli indici di precipitazione non emergono segnali netti di variazioni significative della frequenza e della intensità di pioggia nel periodo considerato. Si può osservare una tendenza all'aumento degli indici SDII (intensità di





precipitazione giornaliera) e CDD (numero massimo di giorni secchi consecutivi) per tutte le serie analizzate, tuttavia i trend sono statisticamente significativi per tre stazioni su otto per l'indice SDII e per una sola stazione per l'indice CDD.

Gli estremi di temperatura confermano la chiara tendenza al riscaldamento osservata per i valori medi, con un incremento degli indici rappresentativi degli estremi di caldo e una riduzione degli indici che descrivono gli estremi di freddo. I trend stimati sono in prevalenza statisticamente significativi. In generale i risultati mettono in evidenza una marcata riduzione dei giorni con gelo, delle notti e dei giorni freddi; al contrario, si osservano forti aumenti dei giorni e delle notti calde, delle notti tropicali, dei giorni estivi, della durata delle onde di calore e dei giorni molto caldi (con temperatura superiore a 30°C).

Proiezioni climatiche future

Allo scopo di conoscere le variazioni climatiche future sulla regione Marche, sono state selezionate ed analizzate le proiezioni di quattro modelli climatici regionali (RCM) impiegati nell'ambito Med-CORDEX (www.medcordex.eu), un'iniziativa internazionale focalizzata sulla regione del Mediterraneo. È stata esaminata l'evoluzione della temperatura (massima, minima e media) e della precipitazione cumulata sulla regione, nel corso del 21° secolo, in due diversi scenari di sviluppo socio-economico globale e di emissione di gas climalteranti (Representative Concentration Pathway, RCP), come recentemente ridefiniti dall'IPCC: lo scenario più pessimistico RCP8.5, che considera un aumento continuo delle emissioni fino al 2100 e lo scenario RCP4.5, che assume un aumento delle emissioni fino al 2040 e una successiva diminuzione. Sono stati esaminati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di temperatura e precipitazione, sulla base degli stessi indici ETCCDI e ET SCI, già utilizzati per l'analisi delle variazioni climatiche passate e in corso. Le variazioni climatiche future sono state valutate in termini di differenze tra il valore di una variabile o di un indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000; questo consente di confrontare i segnali climatici di diversi modelli, indipendentemente dalla loro abilità nel riprodurre i valori assoluti.

Per quanto riguarda le proiezioni di precipitazione, il segnale climatico futuro risulta piuttosto incerto. Nello scenario RCP4.5, tre modelli su quattro prevedono in un secolo una debole diminuzione sulla regione, mentre un solo modello ne prevede un aumento. Complessivamente il range delle variazioni è compreso fra una diminuzione dell'11% e un aumento del 5%, con una riduzione dell'*ensemble mean* del 3% circa. Nello scenario RCP8.5 tale intervallo si allarga, risultando compreso tra una diminuzione del 25% e un aumento del 10%; l'*ensemble mean* mostra una riduzione delle precipitazioni del 7% circa.

L'analisi stagionale indica al 2100 una debole riduzione dell'*ensemble mean* in primavera, estate e autunno, in entrambi gli scenari RCP. In inverno si prevede un lieve aumento della precipitazione





cumulata regionale nello scenario RCP4.5, mentre non si prevedono variazioni nello scenario RCP8.5.

Diversamente dalla precipitazione, le proiezioni di temperatura mostrano un accordo fra tutti i modelli, che mettono in evidenza un generale aumento della temperatura per il 21° secolo. L'aumento medio di temperatura previsto dai modelli è compreso tra 1.7 e 3.1 °C in un secolo, nello scenario RCP4.5 e tra 3.4 e 5.3°C in un secolo nello scenario RCP8.5. L'*ensemble mean* indica un trend positivo di 0.2°C/10 anni nello scenario RCP4.5 e di 0.4 °C/10 anni nello scenario RCP8.5. Le variazioni più marcate di temperatura media si prevedono in estate, con valori compresi tra 2.3 e 3.6°C in un secolo nello scenario RCP4.5 e tra 4.0 e 7.0°C in un secolo nello scenario RCP8.5, mentre le variazioni più modeste si prevedono in primavera, con un aumento compreso tra 1.3 e 2.7°C in un secolo nello scenario RCP4.5 e tra 2.7 e 4.9°C nello scenario RCP8.5.

L'analisi degli estremi climatici mostra i seguenti risultati. Per quanto riguarda la precipitazione le proiezioni degli indici estremi indicano una futura, progressiva concentrazione delle precipitazioni in eventi più intensi e meno frequenti; le variazioni previste sono tuttavia generalmente deboli o moderate. L'analisi dei giorni secchi consecutivi mostra un probabile aumento della durata dei periodi di siccità, con gli aumenti più marcati nello scenario RCP8.5 (fino a 30 giorni in un secolo). Le proiezioni degli indici estremi di temperatura mettono in evidenza marcate variazioni per il 21° secolo, confermando la tendenza al riscaldamento prevista per i valori medi. Tutti i modelli concordano nel prevedere una riduzione dei giorni con gelo ed un aumento delle notti tropicali, dei giorni estivi e delle onde di calore, seppure con differenze significative riguardo all'entità delle variazioni. All'orizzonte temporale 2061-2090 si prevede un aumento medio regionale delle notti tropicali compreso tra 15 e 33 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 24 e 59/ giorni nello scenario RCP8.5. Aumenti consistenti sono previsti inoltre per i giorni estivi e le onde di calore: gli aumenti medi dei giorni estivi variano da 22 a 45 giorni nello scenario RCP4.5 e da 41 a 69 giorni nello scenario RCP8.5, mentre per onde di calore gli incrementi previsti variano da 23 a 90 giorni nello scenario RCP4.5 e da 56 a 176 giorni nello scenario RCP8.5. Infine si prevedono forti riduzioni dei giorni con gelo, con una diminuzione media regionale compresa tra 7 e 31 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 12 e 41 giorni nello scenario RCP8.5, all'orizzonte temporale 2061-2090.





1. Introduzione

1.1 Obiettivo del progetto Life Sec Adapt project

L'obiettivo principale del progetto Life Sec Adapt è quello di 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. Sono necessarie azioni di mitigazione 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 Azione A1: definizione del contesto climatico a livello regionale

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, sintetizzate nel presente rapporto a livello regionale, con l'azione A1 si intende creare una base comune di conoscenza e di comprensione del quadro regionale in materia di cambiamenti climatici, che sia utile alle amministrazioni dei Comuni partner del Progetto LIFE SEC ADAPT ad affrontare le possibili sfide ambientali e socio-economiche del prossimo futuro derivanti dal cambiamento climatico.

Insieme alla stima delle tendenze in corso, per la valutazione degli impatti e la strategia di adattamento ai cambiamenti climatici è di fondamentale importanza anche la conoscenza delle proiezioni del clima futuro. Se la conoscenza delle variazioni del clima passato e presente si fonda sulle osservazioni e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima dei trend, quella del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

L'analisi dei trend è stata quindi integrata con le proiezioni climatiche future a livello regionale,





comprehensive di previsioni a medio termine (fino al 2030) e a lungo termine (fino al 2050), che rappresentano una base conoscitiva fondamentale per la successiva l'elaborazione dell'analisi dei rischi e delle vulnerabilità del territorio (Azione C2).

2. Contesto geografico e climatologico

La regione Marche si estende sul versante del medio Adriatico, tra i fiumi Conca a nord e Tronto a sud; lungo il confine occidentale si elevano i monti dell'Appennino Umbro Marchigiano. Il territorio della regione è prevalentemente collinare (circa 69%) e montuoso (circa 31%); i rilievi si spingono fino al mare o a breve distanza dalla costa. Le aree pianeggianti sono praticamente assenti ad eccezione di poche zone lungo la costa e lungo il corso dei fiumi.

Come riportato nei report dei singoli Comuni marchigiani, secondo la classificazione del climatica del Köppen le Marche appartengono alla fascia climatica di tipo temperato e, più precisamente, ad un clima di transizione fra il sottotipo mediterraneo e quello sub continentale europeo (figura 1). Le caratteristiche climatiche del territorio marchigiano sono influenzate dalla vicinanza del mare ad oriente e dalla presenza dei monti ad occidente. L'Adriatico, nel periodo invernale, esercita un'azione debolmente mitigatrice nei confronti degli afflussi di masse d'aria relativamente fredda da nord e da est, come pure, in estate, le sue brezze riducono il disagio caratterizzato dall'afa. Tale dinamica mitigatrice è comunque funzione della particolare configurazione del bacino: la limitata estensione e profondità del mare Adriatico limitano l'azione mitigatrice delle avvezioni fredde continentali invernali. L'Appennino modifica in parte le caratteristiche delle correnti occidentali, per lo più temperate ed umide, che predominano alle nostre latitudini, così come quelle delle correnti settentrionali ed orientali che, ostacolate nel loro moto dall'esistenza dei rilievi, scaricano in loco il loro contenuto di acqua sotto forma di pioggia o neve. Ad una scala più ampia le grandi perturbazioni derivanti dall'Atlantico e le correnti che le accompagnano influenzano maggiormente la meteorologia locale. Inoltre, anche se in misura minore, vanno anche considerati i fenomeni derivanti dalle ciclogenesi mediterranee, spesso apportatrici di piogge abbondanti, e 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.

La distribuzione spaziale dei valori medi di temperatura e precipitazione, è mostrata nelle mappe dei valori normali del trentennio 1971-2000 (figura 2.2 e 2.3). Le mappe sono state realizzate a partire dalle serie del Sistema SCIA (Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale, www.scia.isprambiente.it), che assicura da tempo la





disponibilità di dati, statistiche e indici climatici di qualità controllata, che originano dalle principali reti osservative nazionali e regionali (Desiato 2007; Desiato et al., 2006, 2007). La temperatura media annua varia da 13-15 °C delle zone costiere e pianeggianti a 6-8 °C sui rilievi. La precipitazione cumulata annuale varia da 600-800 mm nelle zone costiere a 1500 mm sui rilievi.





3. Analisi del clima passato e presente

3.1. Controllo di qualità dei dati e selezione delle serie: approccio metodologico per l'analisi dei dati

Per lo studio della variabilità del clima e la stima delle tendenze passate e in corso di temperatura e precipitazione giornaliere sulla regione Marche sono state analizzate le serie storiche rappresentative del territorio di ogni Comune coinvolto nel Progetto, nel periodo 1961-2015.

Per una corretta valutazione dei trend climatici è necessario selezionare le serie in base ad opportuni criteri di qualità, completezza e continuità. È inoltre di fondamentale importanza sottoporre le serie di temperatura a test di omogeneità, al fine di individuare eventuali disomogeneità artificiali, che non possono essere attribuite a fattori climatici. Tali disomogeneità, che derivano da cause diverse, quali per esempio lo spostamento della stazione di misura, la sostituzione della strumentazione, cambiamenti nell'esposizione dello strumento o l'adozione di nuove procedure di elaborazione, possono infatti essere causa di un trend artificiale nella serie (Peterson et al., 1998; Aguilar et al., 2003). Diverse procedure statistiche sono state sviluppate per il controllo dell'omogeneità delle serie. Una delle procedure recentemente utilizzate, applicata anche dai Comuni marchigiani, è implementata nel pacchetto "RHtestV4" proposto dall'ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices), che si basa sul *penalized maximal t-test* (Wang et al. 2007) e sul *penalised maximal F-test* (Wang 2008a), inseriti in un algoritmo ricorsivo di controllo (Wang 2008b). Per i dettagli riguardo al controllo di qualità delle serie e ai test di omogeneità si rimanda ai report dei singoli Comuni.

Le serie analizzate sono state fornite dal Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Marche, ad eccezione di quelle dei Comuni di Pesaro e di Urbino, per i quali sono state analizzate rispettivamente le serie dell'Osservatorio Valerio e dell'Osservatorio Serpieri.

L'elenco delle stazioni selezionate per le analisi climatiche, con la relativa anagrafica, è riportato in tabella 3.1, mentre la localizzazione delle stazioni è mostrata nella mappa della figura 3.1.

Le stazioni selezionate forniscono serie giornaliere di precipitazione, temperatura minima e temperatura massima. La temperatura media, non presente nel dataset originale, è stata derivata dalla media aritmetica della temperatura minima e massima giornaliera.

La valutazione delle variazioni climatiche è stata effettuata rispetto al trentennio di riferimento 1971-2000, in termini di differenze percentuali nel caso della precipitazione e in termini di differenze per la temperatura, attraverso l'applicazione di modelli statistici di riconoscimento e stima dei trend (Seidel and Lanzante, 2004; Tomé and Miranda, 2004).

La valutazione dei trend e della significatività statistica è stata effettuata tramite il test non parametrico di Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1976; Yue et al. 2002) e lo stimatore di Theil-





Sen (Sen 1968), utilizzando gli algoritmi presenti nei pacchetti applicativi “Kendall” e “zyp” del software R. Le analisi hanno riguardato i valori medi di temperatura (massima, minima, media) e di precipitazione sia a livello annuale che stagionale.

Inoltre sono stati esaminati gli estremi climatici tramite il calcolo di alcuni indici significativi per il clima italiano (tabelle 3.2 e 3.3), selezionati fra quelli definiti dall’Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) del CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection (Peterson et al., 2001; Klein Tank et al., 2009). Per quanto riguarda la temperatura, la tabella include l’indice SU30 (numero di giorni con temperatura massima maggiore di 30°C), selezionato dall’insieme degli indici definiti dalla Expert Team on Sector-specific Indices (ET SCI) della Commission for Climatology (CCI) del WMO, rilevanti per diversi settori, quali la salute, le risorse idriche, l’agricoltura. Gli indici selezionati sono stati elaborati da quasi tutti i Comuni utilizzando il pacchetto del software R “Climpact2”, che, implementato sulla base del precedente software “RClimDEX”, include anche l’insieme degli indici ET SCI. Il software svolge un controllo preliminare della qualità del dato di input e fornisce per ogni indice i coefficienti di slope e deviazione standard del modello di regressione lineare applicato, insieme al p-value per la valutazione della significatività statistica.

Stazione	Latitudine	Longitudine	Quota (m)
Ascoli Piceno	42.83	13.62	154
Fabriano	43.3	12.9	357
Fano**	43.83	13.02	14
Jesi	43.49	13.12	96
Macerata	43.28	13.45	303
Pesaro - Osservatorio Valerio	43.91	12.9	12.9
Senigallia*	43.7	13.22	5
Servigliano	43.1	13.49	215
Spinetoli *	42.89	13.77	124
Urbino – Osservatorio A. Serpieri	43.72	12.63	451

Tabella 3.1 – Elenco delle stazioni di temperatura e precipitazione selezionate (* solo precipitazione, **solo temperatura).





Indice	Definizione	Unità
FD (giorni con gelo)	Numero di giorni l'anno in cui $TN < 0^{\circ}C$	giorni
TR20 (notti tropicali)	Numero di giorni l'anno in cui $TN > 20^{\circ}C$	giorni
TN10P (notti fredde)	Percentuale di giorni l'anno in cui $TN < 10^{\circ}$ percentile del periodo base	%
TN90P (notti calde)	Percentuale di giorni l'anno in cui $TN > 90^{\circ}$ percentile del periodo base	%
TX10P (giorni freddi)	Percentuale di giorni l'anno in cui $TX < 10^{\circ}$ percentile del periodo base	%
TX90P (giorni caldi)	Percentuale di giorni l'anno in cui $TX > 90^{\circ}$ percentile del periodo base	%
SU25 (giorni estivi)	Numero di giorni l'anno in cui $TX > 25^{\circ}C$	giorni
SU30* (giorni molto caldi)	Numero di giorni l'anno in cui $TX \geq 30^{\circ}C$	giorni
WSDI (Indice di durata delle onde di calore)	Numero di giorni l'anno in cui $TX > 90^{\circ}$ percentile del periodo base per almeno 6 giorni consecutivi	giorni

Tabella 3.2 – Indici estremi di temperatura selezionati dall'insieme degli indici ETCCDI ed ET SCI (*), dove TN = temperatura minima e TX = temperatura massima.

Indice	Definizione	Unità
RX1day (precipitazione massima giornaliera)	Valore massimo di precipitazione giornaliera	mm
R95p (giorni molto piovosi)	Totale annuale delle precipitazioni $> 99^{\circ}$ percentile del periodo base	mm
SDII (intensità di precipitazione giornaliera)	Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni piovosi nell'anno (definiti come giorni con precipitazione $\geq 1.0mm$)	mm/giorno
CDD (giorni secchi consecutivi)	Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera $< 1 mm$	giorni
R20 (giorni con precipitazione molto intensa)	Numero di giorni l'anno con precipitazione $\geq 20mm$	giorni

Tabella 3.3 – Indici estremi di precipitazione selezionati dall'insieme degli indici ETCCDI.



3.2 Trend climatici

a. Precipitazione

L'analisi dei trend della precipitazione cumulata annuale e stagionale è riassunta nella tabella 3.4, per tutte le stazioni. A livello annuale, l'analisi nel periodo 1961-2015 restituisce deboli trend, tutti statisticamente non significativi, con segno positivo in alcune stazioni e negativo in altre. Un trend negativo di -3.66 %/10 anni, statisticamente significativo, viene invece evidenziato per la serie di Fabriano, per il periodo 1957-2008.

Dall'analisi stagionale relativa al periodo 1961-2015 si osserva in generale un lieve aumento della precipitazione in primavera per tutte le stazioni, ad eccezione di Spinetoli, e una riduzione in estate, ad eccezione della stazione di Ascoli Piceno. Tuttavia gli unici trend significativi si rilevano per la serie della cumulata primaverile ad Ascoli Piceno, che indica un aumento di precipitazione di 8.7% per decennio, e per la serie estiva di Urbino, che mostra una riduzione del 9.0% per decennio. Nelle altre stagioni i trend sono statisticamente non significativi per tutte le serie esaminate.

L'analisi stagionale per la serie di Fabriano, relativa al periodo 1951-2008, mostra una diminuzione della precipitazione in tutte le stagioni (ad eccezione dell'autunno), tuttavia solo per la primavera viene stimato un trend statisticamente significativo (-3.72 %/10 anni).

Nella figura 3.2 è mostrata la distribuzione spaziale dei trend della precipitazione cumulata annuale nelle stazioni analizzate.

	Annuale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Ascoli Piceno	(+2.80)	(+3.64)	+8.72	(+0.16)	(+1.78)
Jesi	(-0.02)	(-1.53)	(+2.25)	(-3.62)	(+4.00)
Macerata	(-2.12)	(-3.73)	(+0.95)	(-7.06)	(-2.51)
Pesaro	(+2.89)	(+6.45)	(+5.18)	(-4.00)	(+3.10)
Senigallia	(-1.72)	(-1.71)	(+0.11)	(-3.83)	(-0.88)
Servigliano	(+0.68)	(+1.98)	(+2.90)	(-5.27)	(+1.96)
Spinetoli	(-2.00)	(-4.54)	(-0.17)	(-5.00)	(+2.07)
Urbino	(+1.11)	(+3.61)	(+3.18)	-9.04	(+2.77)
Fabriano	-3.66	(-6.75)	-3.72	(-1.97)	(+0.14)

Tabella 3.4 – Trend stimati della precipitazione (%/10 anni) dal 1961 al 2015; per Fabriano dal 1951 al 2008. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi.



b. Temperatura

A differenza della precipitazione, l'analisi delle serie annuali di temperatura (media, minima e massima) mostra un chiaro segnale di riscaldamento, in accordo con quanto osservato a livello nazionale (Desiato et al., 2016), con trend positivi e statisticamente significativi per quasi tutte le stazioni.

L'incremento della temperatura media annuale nel periodo 1961-2015 varia da 0.15°C/10 anni stimato nella stazione di Fabriano a 0.47°C/10 anni a Urbino (tabella 3.5 e figura 3.3). L'aumento della temperatura minima è compreso tra 0.05°C/10 anni a Fabriano e 0.48°C/10 anni nella stazione di Urbino (tabella 3.6 e figura 3.4), mentre si osserva un debole trend negativo (non significativo) di temperatura minima per la serie di Servigliano. Questa serie, tuttavia, potrebbe essere non omogenea, come riportato nel report del Comune di Fermo, che ha effettuato i controlli di qualità e l'analisi climatica della serie di Servigliano. L'incremento della temperatura massima varia tra 0.05°C/10 anni di Jesi e 0.45°C/10 delle serie di Fano e Pesaro: anche in questo caso la serie di Servigliano mostra un incremento (0.85°C/10) nettamente al di fuori dell'intervallo stimato per le altre stazioni (tabella 3.7 e figura 3.5). Le serie analizzate indicano in prevalenza che gli aumenti della temperatura massima sono più marcati rispetto a quelli della temperatura minima.

L'analisi stagionale mostra gli incrementi più forti di temperatura in estate e quelli più modesti in inverno; in questa stagione diverse serie, soprattutto di temperatura minima, mostrano trend statisticamente non significativi.



	Annuale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Ascoli Piceno	+0.32	(+0.21)	+0.33	+0.49	+0.22
Jesi	+0.22	+0.25	(+0.17)	+0.27	(+0.14)
Macerata	+0.33	+0.20	+0.38	+0.60	(+0.20)
Pesaro	+0.39	+0.19	+0.33	+0.57	+0.28
Fano	+0.37	+0.31	+0.32	+0.49	+0.31
Servigliano	+0.35	(+0.05)	+0.36	+0.63	+0.37
Urbino	+0.47	(+0.20)	+0.46	+0.75	+0.33
Fabriano	+0.15	(-0.01)	+0.13	+0.33	(+0.03)

Tabella 3.5 – *Trend stimati della temperatura media (°C/10 anni) dal 1961 al 2015. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi.*

	Annuale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Ascoli Piceno	+0.21	(+0.14)	+0.25	+0.33	+0.20
Jesi	+0.43	+0.31	+0.38	+0.53	+0.34
Macerata	+0.30	(+0.20)	+0.30	+0.46	+0.18
Pesaro	+0.33	(+0.13)	+0.30	+0.50	+0.25
Fano	+0.32	(+0.25)	+0.25	+0.43	+0.28
Servigliano	(-0.15)	-0.37	(-0.14)	(+0.11)	(-0.01)
Urbino	+0.48	+0.40	+0.50	+0.71	+0.49
Fabriano	(+0.05)	(-0.06)	(+0.02)	(+0.18)	(+0.02)

Tabella 3.6 – *Come in tabella 3.5 per la temperatura minima.*

	Annuale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Ascoli Piceno	+0.40	+0.27	+0.40	+0.65	(+0.25)
Jesi	(+0.05)	(+0.16)	(0)	(+0.05)	(-0.05)
Macerata	+0.37	+0.23	+0.45	+0.70	(+0.18)
Pesaro	+0.45	+0.25	+0.40	+0.66	+0.30
Fano	+0.45	+0.38	+0.41	+0.57	+0.33
Servigliano	+0.83	+0.55	+0.84	+1.18	+0.77
Urbino	+0.38	(0)	+0.44	+0.77	+0.14
Fabriano	+0.23	+0.07	+0.24	+0.48	(-0.003)

Tabella 3.7 – *Come in tabella 3.5 per la temperatura massima.*



3.3 Indici estremi

a. Precipitazione

Complessivamente dall'analisi degli indici estremi di precipitazione non emergono variazioni significative della frequenza e della intensità delle precipitazioni nel periodo considerato (tabella 3.8). Si osservano alcuni aumenti statisticamente significativi per la stazione di Ascoli Piceno: un aumento dell'indice RX1day (precipitazione massima giornaliera), dell'indice R95p (giorni molto piovosi) e dell'indice SDII (l'intensità di precipitazione giornaliera).

Per quanto riguarda gli indici SDII e CDD (numero massimo di giorni secchi consecutivi), si può segnalare una tendenza positiva per tutte le serie analizzate, tuttavia i trend sono statisticamente significativi per tre stazioni su otto per l'indice SDII e per una sola stazione per l'indice CDD. I trend relativi a questi due indici sono riportati rispettivamente nelle mappe delle figure 3.6 e 3.7.

Anche per gli indici R95p e R20 si osserva una prevalenza di trend positivi, ma statisticamente significativi solo per la serie di Ascoli Piceno per l'indice R95p e per quella di Pesaro per l'indice R20.

	RX1day (mm)	R95p (mm)	SDII (mm/giorno)	CDD (giorni)	R20 (giorni)
Ascoli Piceno	+5.83	+21	+0.37	(+0.11)	(+0.57)
Servigliano	(+3.2)	(+5.42)	(+0.16)	(+0.8)	(+0.18)
Jesi	(-0.36)	(+7.36)	+0.27	(+1.13)	(+0.19)
Macerata	(+0.23)	(+0.32)	(+0.06)	(+1.33)	(+0.21)
Spinetoli	(1.47)	(+5.68)	(+0.12)	(+0.58)	(+0.08)
Pesaro	(-1.44)	(+18.81)	+0.29	(+0.71)	+0.84
Senigallia	(-1.96)	(-6.38)	(+0.04)	(+0.82)	(-0.04)
Urbino	(+2.48)	(+10.92)	(+0.17)	+1.11	(+0.09)
Fabriano	(-0.82)	(-16.6)	(+0.08)	(+1.0)	(-0.38)

Tabella 3.8 – Trend stimati (in 10 anni) degli indici estremi di precipitazione dal 1960 al 2015; per Fabriano dal 1951 al 2008. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi.



b. Temperatura

L'analisi degli estremi di temperatura conferma la marcata tendenza al riscaldamento già osservata per i valori medi, con un aumento degli indici rappresentativi degli estremi caldi ed una riduzione di quelli che descrivono gli estremi freddi (tabella 3.9), in accordo con quanto viene rilevato a livello nazionale (Toreti and Desiato, 2008; Fioravanti et al., 2015; Desiato et al., 2015).

I trend stimati sono in prevalenza statisticamente significativi. I risultati mettono in evidenza una marcata riduzione dei giorni con gelo (FDO) nel periodo 1961-2015 in quasi tutte le stazioni (ad esclusione di Servigliano), con una diminuzione massima di 5 giorni/10 anni nella stazione di Urbino, una riduzione delle notti fredde (ad esclusione di Servigliano) e dei giorni freddi con valori massimi di variazione rispettivamente del -2.56%/10 anni (a Jesi) e -3.22 %/10 anni (a Fano). Al contrario, si osservano in generale marcati aumenti degli indici che descrivono gli estremi caldi per tutte le stazioni esaminate, ad eccezione di Jesi. Per questa stazione, infatti, si trovano trend (non significativi) in lieve diminuzione per alcuni indici che coinvolgono la serie della temperatura massima. In generale, i risultati mettono in evidenza un aumento dei giorni e delle notti calde e un incremento delle notti tropicali (TR20) di oltre 6 giorni /10 anni (Urbino). Si osservano inoltre aumenti dei giorni estivi (SU25), dell'indice rappresentativo della durata delle onde di calore (WSDI) e dei giorni molto caldi (SU30). Per questi indici, oltre ai forti incrementi evidenziati a Servigliano (13 giorni/10 anni per l'indice SU25, 10 giorni/10 anni per l'indice WSDI e 14 giorni/10 anni per l'indice SU30), gli aumenti più elevati raggiungono 8 giorni/10 anni (a Pesaro e Fano) per i giorni estivi, 6 giorni/10 anni (a Macerata) per le onde di calore e 8 giorni/10 anni (ad Ascoli Piceno e Macerata) per i giorni molto caldi. I trend relativi agli indici TR20 e WSDI sono riportati per tutte le stazioni rispettivamente nelle mappe delle figure 3.8 e 3.9.

	FDO (giorni)	SU25 (giorni)	TR20 (giorni)	TN10P (%)	TN90P (%)	TX10P (%)	TX90P (%)	WSDI (giorni)	SU30 (giorni)
Ascoli Piceno	(-0.46)	+5.44	+3.61	(-0.71)	+2.13	-1.13	+2.82	+5.01	+8.0
Servigliano	+6.83	+13.39	(+0.24)	+1.73	(+0.26)	-2.59	+5.96	+10.27	+14.04
Jesi	-3.75	(-1.08)	+3.94	-2.56	+2.2	(-0.02)	(+0.47)	(-0.68)	(-0.52)
Macerata	(-0.46)	+6.53	+5.42	(-0.8)	+1.99	-0.97	+3.41	+6.16	+7.97
Pesaro	-2.44	+8.49	+5.88	-1.69	+2.56	-2.66	+2.38	+1.93	+5.95
Fano	-2.1	+8.3	+3.97	-2.4	+1.78	-3.22	+2.41	+3.0	+6.11
Urbino	-4.94	+7.84	+6.81	-2.29	+3.45	-0.93	+3.18	+5.58	+6.85
Fabriano	(+1.5)	+2.56	(+0.57)	(+0.20)	(+0.40)	(0.04)	+1.10	+3.93	+3.74

Tabella 3.9 – Trend stimati (in 10 anni) degli indici estremi di temperatura dal 1961 al 2015; per Fabriano dal 1957 al 2015. Tra parentesi i trend statisticamente non significativi.

LIFE SEC ADAPT

LIFE14 CCA/IT/000316





4. Proiezioni climatiche future

4.1 Dati e metodo di analisi

Le proiezioni di temperatura (minima, massima e media) e di precipitazione per la regione Marche sono state estratte dall'insieme delle simulazioni prodotte nell'ambito di Med-CORDEX. Sono stati selezionati gli output di quattro modelli RCM (Regional Climate Models) che forniscono previsioni fino al 2100 nei due scenari di emissione RCP4.5 (intermedio) e RCP8.5 (pessimistico).

Ogni modello RCM, che ha un grigliato con risoluzione di circa 50 Km, è innestato su un modello globale (GCM) dal quale acquisisce le condizioni iniziali e al contorno per produrre le proiezioni future. Le simulazioni relative al periodo 1971-2000 (hindcast), utilizzate come base rispetto alla quale calcolare le variazioni climatiche, sono state eseguite con la stessa modalità, ossia con inizializzazione tramite GCM. Gli RCM selezionati e i rispettivi GCM sono riportati nella tabella 1.

Dagli output dei modelli sono stati estratti i dati giornalieri relativi ai punti di griglia che ricadono nella regione Marche, che sono stati poi aggregati su base stagionale ed annuale. Dai dati giornalieri sono stati inoltre calcolati gli stessi indici estremi di temperatura minima e massima (13 indici ETCCDI e 1 indice ET SCI) già elaborati per l'analisi delle tendenze climatiche passate e in corso (tabella 2.2 per la temperatura e tabella 2.3 per la precipitazione). Tali indici infatti sono stati frequentemente utilizzati sia per esaminare la variabilità degli estremi climatici nelle serie osservate (Klein Tank and Können G.P., 2003; Alexander et al., 2006; Donat et al., 2013) che nelle proiezioni dei modelli (Sillmann and Roeckner, 2008; Sillmann et al., 2013; Jacob et al., 2014; Zollo et al., 2015). Per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), le variazioni climatiche future sono state valutate in termini di differenze tra il valore di una variabile o di un indice su un trentennio e il valore corrispondente nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000. L'andamento nel tempo dei valori medi della regione Marche è stato ottenuto, per ogni modello e per ciascuno dei due scenari, calcolando la media aritmetica dei valori nei punti di griglia che ricadono sul territorio regionale.

Acronimo	Istituto	RCM	GCM
ALADIN	Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-ALADIN5.2	CNRM-CM5
GUF	Goethe University Frankfurt	GUF-CCLM4-8-18	MPI-ESM-LR
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC-CCLM4-8-19	CMCC-CM
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	LMD-LMDZ4-NEMOMED8	IPSL-CM5A-MR

Tabella 1 – Modelli RCM selezionati dal programma Med-CORDEX.





4.1 Variazione dei valori medi

a. Precipitazione

Le proiezioni delle precipitazioni non mostrano un chiaro segnale di aumento o diminuzione nei due scenari.

Nello scenario RCP4.5 (figura 4.1), tre modelli su quattro prevedono una diminuzione della precipitazione cumulata annuale in un secolo compresa tra 33 e 83 mm; un modello prevede invece un aumento di 57 mm. L'*ensemble mean* dei modelli (media delle proiezioni dei quattro modelli) indica una debole riduzione della precipitazione di 26 mm. Il range delle proiezioni dei modelli al 2071-2100 in percentuale va da una diminuzione dell'11% a un aumento del 5%, con una diminuzione del 3% dell'*ensemble mean*; per riportare i valori percentuali in millimetri, va considerato che il valore medio della precipitazione cumulata annuale nella regione Marche dell'*ensemble mean* nel trentennio di riferimento è di circa 800 mm.

Anche nello scenario RCP8.5 tre modelli su quattro prevedono una diminuzione della precipitazione cumulata annuale in un secolo, compresa tra 75 e 161 mm; un modello prevede invece un aumento di 113 mm. La media tra i modelli indica una diminuzione di 56 mm. Il range delle proiezioni dei modelli in percentuale va da una diminuzione del 25% a un aumento del 10%, con una diminuzione del 7% dell'*ensemble mean*.

L'analisi stagionale (figura 4.2) mette in evidenza che l'inverno è l'unica stagione in cui non si prevedono riduzioni di precipitazione per l'*ensemble mean*, ma mostra un debole aumento di 7 mm in un secolo (con variazioni previste dai modelli comprese tra -5 e 16 mm) nello scenario RCP4.5 e non indica variazioni rispetto alla media di riferimento 1971-2000 nello scenario RCP8.5 (le variazioni previste dai modelli sono comprese tra -15 e 17 mm).

Nelle altre stagioni l'*ensemble mean* indica una debole diminuzione delle precipitazioni, più marcata per lo scenario RCP8.5 che per lo scenario RCP4.5. Tuttavia, l'intervallo delle variazioni previste dai modelli è piuttosto ampio e in diversi casi anche il segno della variazione è discordante.

Le riduzioni più significative dell'*ensemble mean* rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 si prevedono in primavera: -14 mm in un secolo nello scenario RCP4.5 (con un intervallo che va da un minimo di -31 mm previsto da un modello, a un massimo di +12 mm previsto da un altro modello) e -24 mm nello scenario RCP8.5 (con un intervallo che va da un minimo di -37 mm previsto da un modello, a un massimo di +3 mm previsto da un altro modello). L'estate mostra la maggiore incertezza nelle previsioni dei modelli (spread), che vanno da un minimo di -40 mm a un massimo di +43 mm nello scenario RCP4.5 e da un minimo di -72 mm a un massimo di +78 mm nello scenario RCP8.5. Le variazioni medie stagionali e annuali della precipitazione cumulata nel trentennio 2071-2100 rispetto al periodo 1971-2000, con il relativo spread dei modelli, sono riportate nella tabella 4.1, per i due scenari RCP.



	Scenario RCP4.5		Scenario RCP8.5	
	ΔP ensemble mean	Spread	ΔP ensemble mean	Spread
Primavera	-14	43	-24	40
Estate	-9	84	-21	151
Autunno	-10	20	-11	66
Inverno	+7	20	0	33
Annuale	-26	140	-56	274

Tabella 4.1 – *Variazione della precipitazione cumulata stagionale e annuale (media regionale, mm) nel trentennio 2071-2100 rispetto al trentennio 1971-2000.*

b. Temperatura

Per la regione Marche i quattro modelli prevedono un incremento della temperatura massima in un secolo compreso tra 1.8 e 3.2°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.4 e 5.7°C nello scenario RCP8.5, con un aumento abbastanza costante nel tempo per entrambi gli scenari (figura 4.3).

Per la temperatura minima si prevede in un secolo un incremento compreso tra 1.6 e 3.0°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.3 e 5.1°C nello scenario RCP8.5 (figura 4.4). Anche in questo caso l'aumento è abbastanza costante nel tempo per entrambi gli scenari.

L'aumento previsto per temperatura massima e minima è molto simile, con differenze che si possono considerare trascurabili rispetto all'incertezza delle variazioni stimate.

L'incremento della temperatura media in un secolo è compreso tra 1.7 e 3.1°C nello scenario RCP4.5 e tra 3.4 e 5.3°C nello scenario RCP8.5 (figura 4.5). Anche per la temperatura media l'aumento è abbastanza uniforme nel tempo per entrambi gli scenari, con un trend dell'*ensemble mean* di 0.2°C/10 anni nello scenario RCP4.5 e di 0.4°C/10 anni nello scenario RCP8.5.

L'analisi stagionale indica che la stagione in cui si prevede l'aumento più marcato della temperatura media è l'estate, con variazioni in un secolo comprese tra 2.3 e 3.6°C nello scenario RCP4.5 e tra 4.0 e 7.0°C nello scenario RCP8.5. La stagione in cui si prevede invece l'aumento meno marcato della temperatura media è la primavera, con variazioni in un secolo comprese tra 1.3 e 2.7°C nello scenario RCP4.5 e tra 2.7 e 4.9°C nello scenario RCP8.5. Nella tabella 4.2 sono riportati gli incrementi stagionali e annuali della temperatura nel trentennio 2071-2100 nei due scenari RCP, rispetto al periodo 1971-2000, con il relativo spread.





	Scenario RCP4.5		Scenario RCP8.5	
	ΔT ensemble mean	Spread	ΔT ensemble mean	Spread
Primavera	2.1	1.4	3.7	2.2
Estate	2.9	1.3	5.4	3.0
Autunno	2.5	1.6	4.3	1.8
Inverno	2.3	1.4	4.0	2.0
Annuale	2.5	1.4	4.3	1.9

Tabella 4.2 – Aumento della temperatura media stagionale e annuale (media regionale, °C) nel trentennio 2071-2100





4.2 Variazione degli indici estremi

a. Precipitazione

Le proiezioni di alcuni indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e degli estremi di precipitazione, indicano una futura, progressiva concentrazione delle precipitazioni in eventi più intensi e meno frequenti. L'entità di queste variazioni risulta comunque molto incerta e mediamente debole o moderata, come mostrato nelle analisi di seguito riportate (tabella 4.3 e figure 4.7 – 4.11).

La precipitazione massima giornaliera è prevista in lieve aumento sulla regione, per quanto riguarda l'*ensemble mean*, con alcune differenze da modello a modello: all'orizzonte temporale 2061-2090 le previsioni dei modelli vanno da una riduzione di 3 mm ad un aumento di 6.7 mm, con un incremento di 1.2 mm dell'*ensemble mean*, nello scenario RCP4.5 e da una riduzione di 3 mm ad un aumento di 10.4 mm, con un incremento dell'*ensemble mean* di 3.6 mm, nello scenario RCP8.5 (figura 4.7).

La precipitazione nei giorni molto piovosi (R95p) indica generalmente un lieve aumento come *ensemble mean* (tranne al 2021-2050, scenario RCP8.5), con un elevato spread tra i modelli: all'orizzonte temporale 2061-2090 le variazioni dell'indice R95p sono comprese tra -12.5 e +31.7 mm, nello scenario RCP4.5 e tra -13.9 e +83.4 mm, nello scenario RCP8.5 (figura 4.8).

Tutti i modelli prevedono inoltre un aumento dell'intensità di precipitazione giornaliera (SDII), compreso tra 0.1 e 0.9 mm/giorno nello scenario RCP4.5 e tra 0.3 e 1.2 mm/giorno nello scenario RCP8.5 (figura 4.9). Considerando che l'*ensemble mean* dei modelli mostra una diminuzione della precipitazione totale, sebbene di debole entità, l'aumento dell'indice SDII indica una tendenza ad eventi di precipitazione di maggiore intensità e meno frequenti.

Infine, l'analisi dei giorni secchi consecutivi indica un probabile aumento della durata dei periodi di siccità, più marcato nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5: al 2061-2090 l'*ensemble mean* indica un aumento dell'indice CDD di 8.7 giorni nello scenario RCP4.5 e di 15.5 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.10).

Infine le proiezioni del numero di giorni con precipitazione molto intensa (R20) indicano deboli variazioni: all'orizzonte temporale 2061-2090 le variazioni vanno da una riduzione 0.4 a un aumento di 0.9 giorni nello scenario RCP4.5 e da un riduzione di 0.9 ad un aumento di 2 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.11).



Indice	Unità	2021-2050		2041-2070		2061-2090	
		Media regionale	Spread	Media regionale	Spread	Media regionale	Spread
RCP4.5							
RX1day	mm	0.8	6.9	0.8	15.6	1.2	9.8
R95p	mm	3.1	36.8	10.9	48.9	4.2	44.2
SDII	mm/giorno	0.2	0.6	0.3	0.8	0.4	0.7
CDD	giorni	4.8	14.3	8.8	15.8	8.7	18.0
R20	giorni	0.2	1.1	0.3	1.3	0.1	1.3
RCP8.5							
RX1day	mm	-0.04	8.8	2.5	17.8	3.6	13.5
R95p	mm	-4.5	46.7	9.2	79.9	26.4	97.4
SDII	mm/giorno	0.1	0.6	0.4	1.0	0.6	0.9
CDD	giorni	3.1	9.9	8.4	18.2	15.5	31.6
R20	giorni	-0.02	0.8	0.2	2.1	0.4	2.8

Tabella 4.3 – *Variazione degli indici estremi di precipitazione (media regionale – ensemble mean) rispetto al periodo di riferimento 1971-2000, nei trentenni 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090 rispetto al trentennio 1971-2000.*

b. Temperatura

Tutti i modelli prevedono variazioni degli indici estremi di temperatura, che indicano un riscaldamento progressivamente più marcato dal primo al terzo orizzonte temporale. Le variazioni sono più elevate nello scenario RCP8.5 rispetto allo scenario RCP4.5, ma la loro entità differisce da modello a modello, in maniera talvolta significativa.

I quattro modelli mettono in evidenza una consistente riduzione dei giorni con gelo: all’orizzonte temporale 2061-2090 si prevede una riduzione media regionale compresa tra 7 e 31 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 12 e 41 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.12). Le notti tropicali sono previste in consistente aumento: all’orizzonte temporale 2061-2090 si prevede un aumento medio regionale compreso tra 14.6 a 33.5 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 24 a 59 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.13). I quattro modelli concordano inoltre nel prevedere una riduzione delle notti fredde e un aumento delle notti calde: al 2061-2090 si prevede una riduzione delle notti fredde compresa tra 5.7 e 8.9 (in percentuale di giorni) nello scenario RCP4.5 e tra 8.7 e 9.7 (% di giorni) nello scenario RCP8.5 (figura 4.14), mentre l’aumento previsto delle notti calde è compreso tra





15.2 e 32.9 (% di giorni) nello scenario RCP4.5 e tra 31.5 e 52.1 (% di giorni) nello scenario RCP8.5 (figura 4.15).

Analogamente le proiezioni dei modelli indicano una diminuzione dei giorni freddi e un aumento dei giorni caldi: all'orizzonte temporale 2061-2090 si prevede una riduzione dei giorni freddi compresa tra 4.8 e 8.1 (in percentuale di giorni) nello scenario RCP4.5 e tra 7.7 e 9.4 (% di giorni) nello scenario RCP8.5 (figura 4.16), mentre si prevede un aumento dei giorni caldi tra 12.3 e 33.1 (% di giorni) nello scenario RCP4.5 e tra 25.2 e 56.1 (% di giorni) nello scenario RCP8.5 (figura 4.17). Si prevedono inoltre marcati aumenti dei giorni estivi e dei giorni molto caldi: all'orizzonte temporale 2061-2090 è previsto un aumento medio regionale dei giorni estivi compreso tra 22 e 45 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 41 e 69 nello scenario RCP8.5 (figura 4.18) e un aumento dei giorni molto caldi compreso tra 10 e 33 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 13 e 65 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.19).

I modelli prevedono infine un aumento medio regionale delle onde di calore compreso tra 23 e 90 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 56 e 176 giorni nello scenario RCP8.5 (figura 4.20).

Per tutti gli indici estremi di temperatura, le variazioni medie previste sulla regione Marche, rispetto al trentennio 1971-2000, sono riportate nella tabella 4.4, insieme al relativo spread.

Indice	Unità	2021-2050		2041-2070		2061-2090	
		Media regionale (ensemble mean)	Spread	Media regionale (ensemble mean)	Spread	Media regionale (ensemble mean)	Spread
RCP4.5							
FD	giorni	-11.9	11.1	-16.9	17.8	-22.2	24.0
TR20	giorni	11.3	6.1	19.6	12.3	23.6	18.9
TN10P	%	-4.9	2.7	-6.7	2.2	-7.6	3.3
TN90P	%	13.2	3.7	20.6	10.6	26.0	17.7
TX10P	%	-4.3	3.2	-5.9	2.5	-6.9	3.2
TX90P	%	12.5	7.5	19.0	16.4	23.3	20.8
SU25	giorni	18.0	3.7	30.0	18.5	33.0	23.0
SU30	giorni	8.3	4.0	16.8	16.5	19.4	23.4
WSDI	giorni	25.7	17.7	43.8	43.5	57.0	67.6
RCP8.5							
FD	giorni	-14.2	23.4	-23.7	24.6	-31.3	28.4
TR20	giorni	12.3	6.2	27.2	25.0	43.6	35.9
TN10P	%	-5.7	2.6	-7.9	1.5	-9.2	1.0
TN90P	%	15.9	6.7	29.0	15.3	43.5	20.6
TX10P	%	-5.2	2.6	-7.3	2.0	-8.5	1.8
TX90P	%	14.8	11.7	26.8	24.5	39.6	30.8
SU25	giorni	20.3	9.7	36.1	25.9	51.7	28.1
SU30	giorni	9.4	9.6	22.9	37.8	36.1	52.4
WSDI	giorni	31.9	30.6	67.7	79.9	112.0	119.3

Tabella 4.4 – Variazione degli indici estremi di temperatura (media regionale – ensemble mean) rispetto al periodo di riferimento 1971-2000, nei trentenni 2021-2050, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al trentennio 1961-2090.





5. Figure

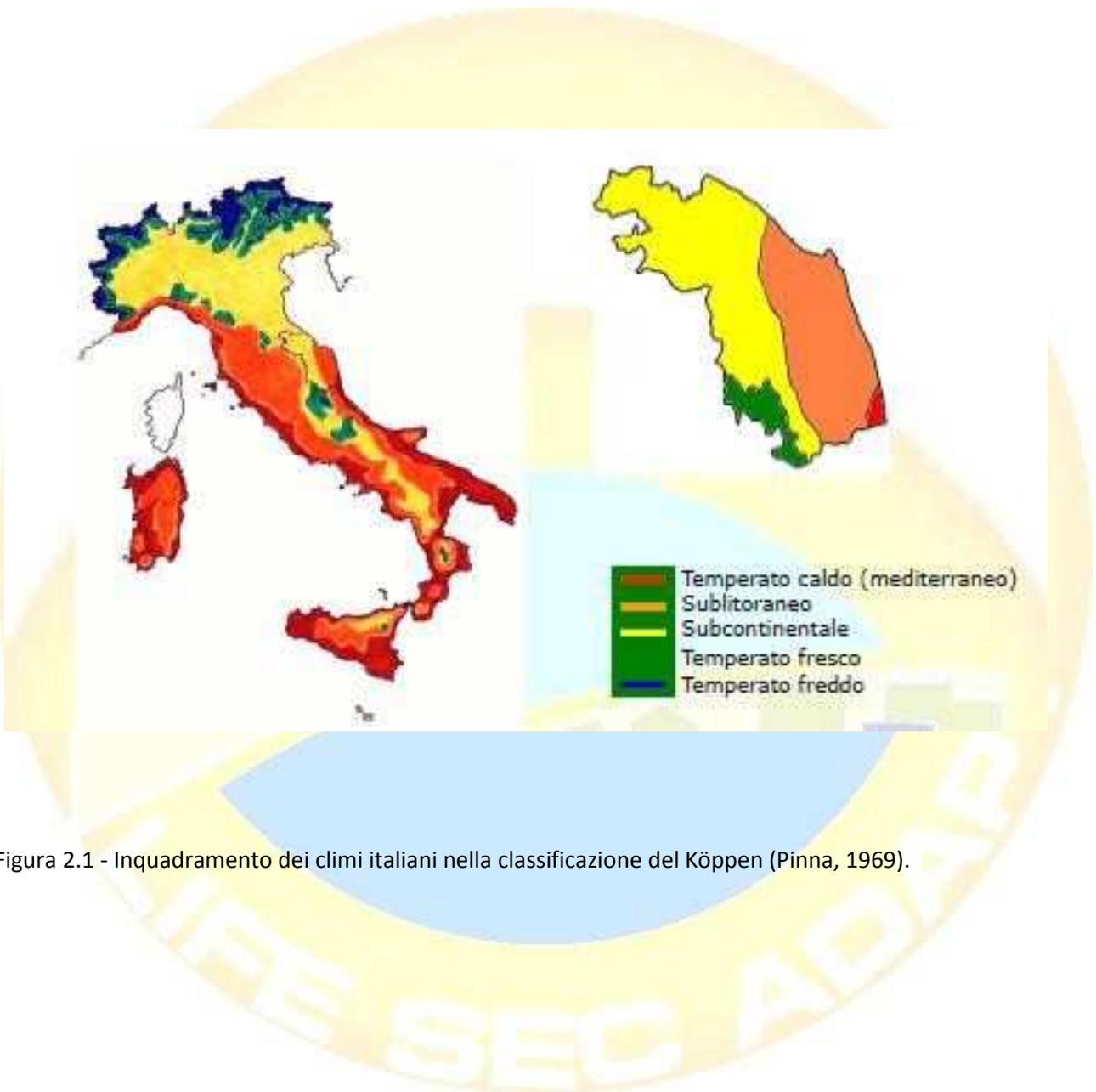


Figura 2.1 - Inquadramento dei climi italiani nella classificazione del Köppen (Pinna, 1969).

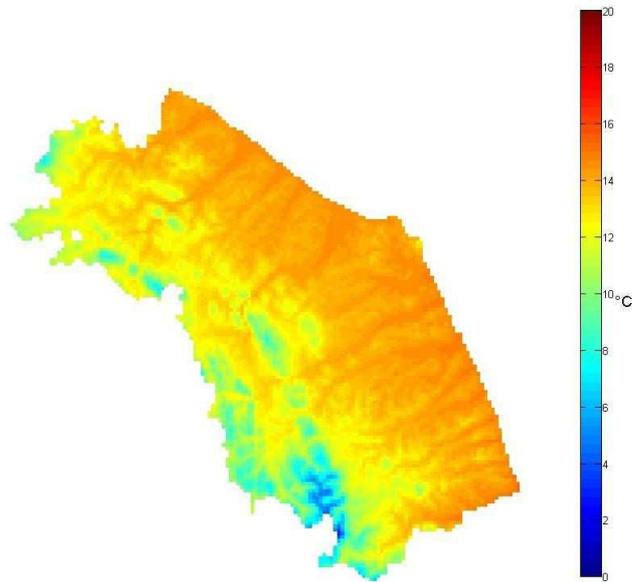


Figura 2.2- Valori normali di temperatura media periodo 1971-2000.

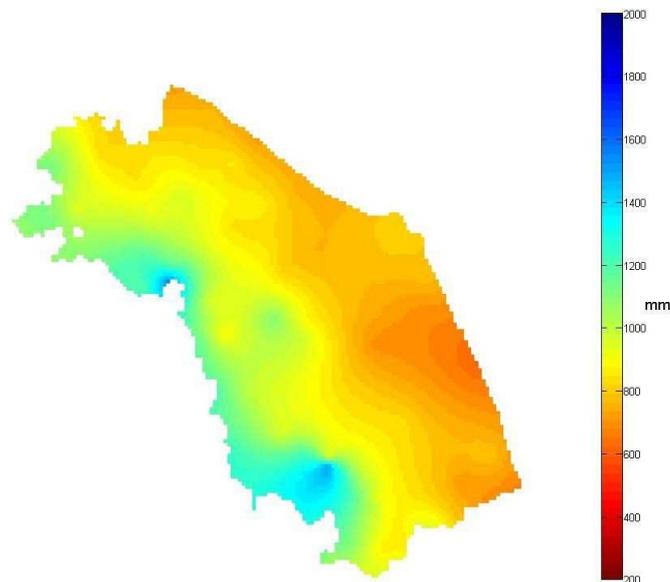


Figura 2.3 – Come in figura 2.2, per la precipitazione cumulata annuale.

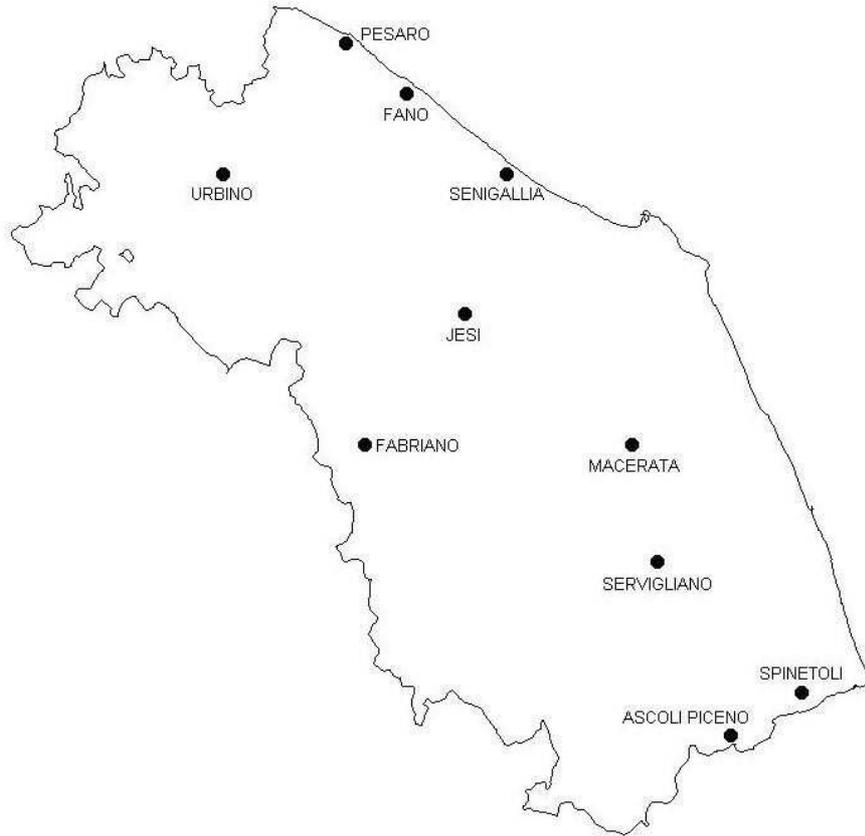


Figura 3.1 – Stazioni utilizzate per l'analisi delle serie di temperatura e precipitazione.



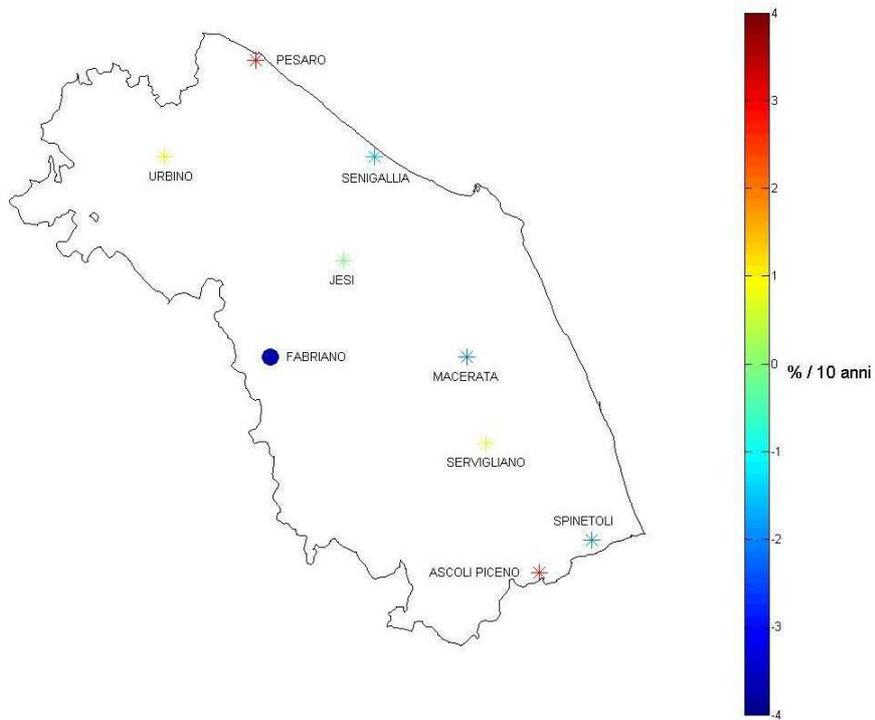


Figura 3.2 - Trend della precipitazione cumulata annuale nel periodo 1961-2015 (Fabriano:1951-2008).I trend non significativi sono indicati con l'asterisco.

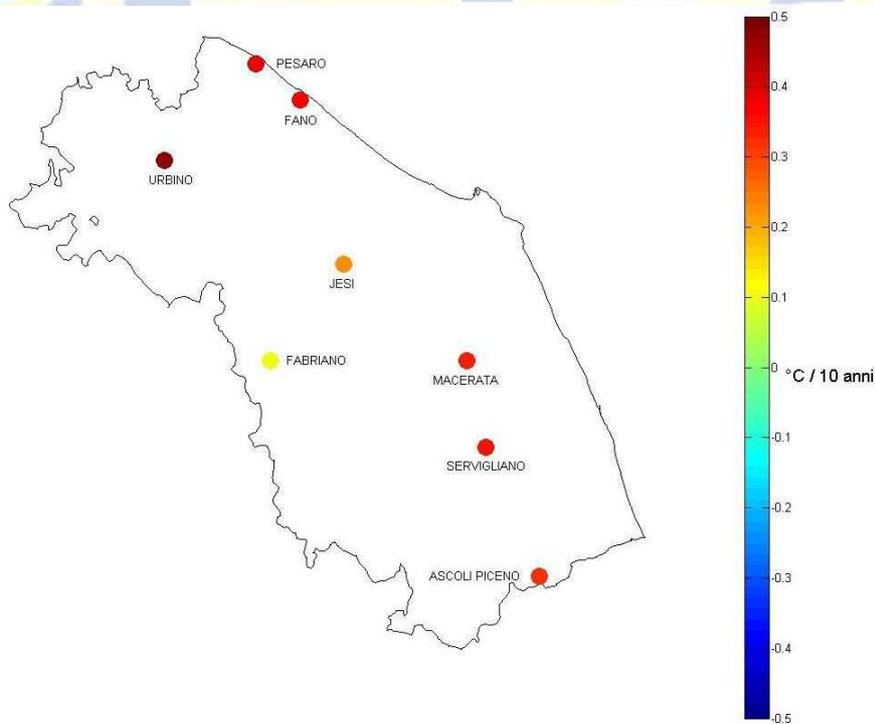


Figura 3.3 Come in figura 3.2, per la temperatura media annuale.



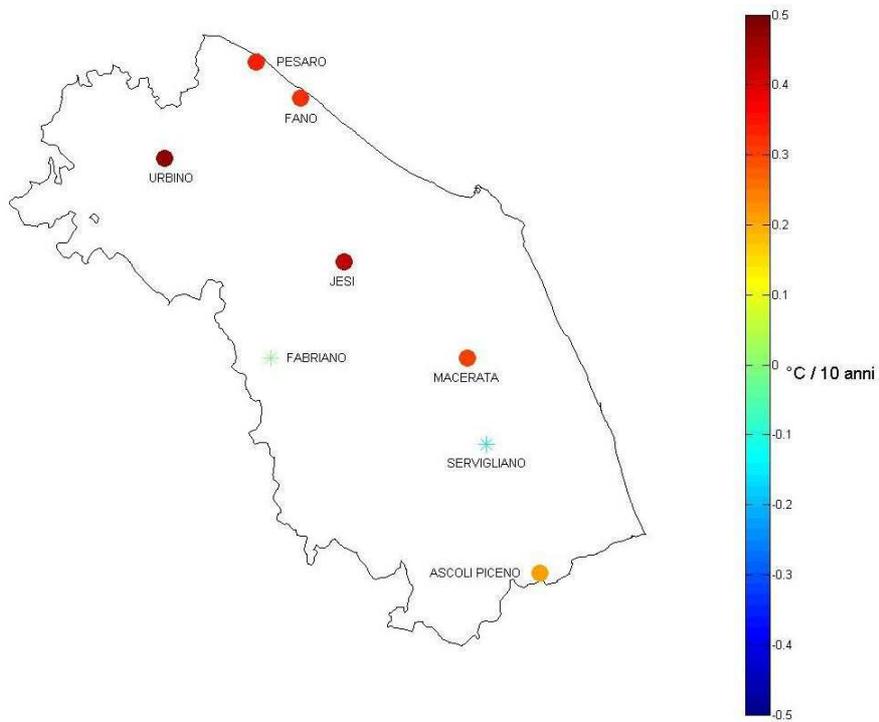


Figura 3.4 - Trend della temperatura minima annuale nel periodo 1961-2015. (Fabriano: 1957-2015). I trend non significativi sono indicati con l'asterisco.

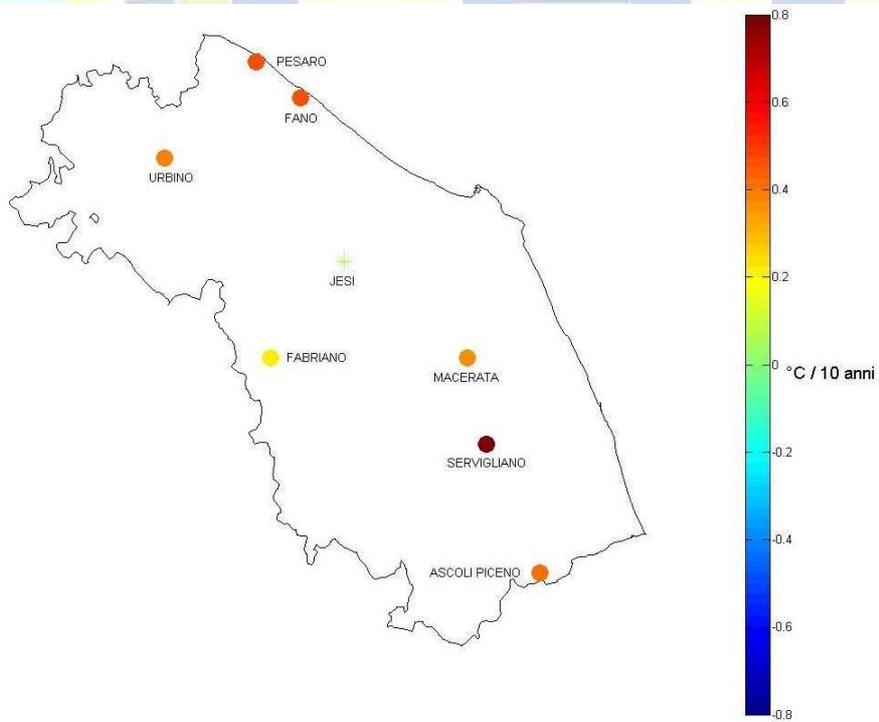


Figura 3.5 - della Come in figura 3.4, per la temperatura massima annuale.



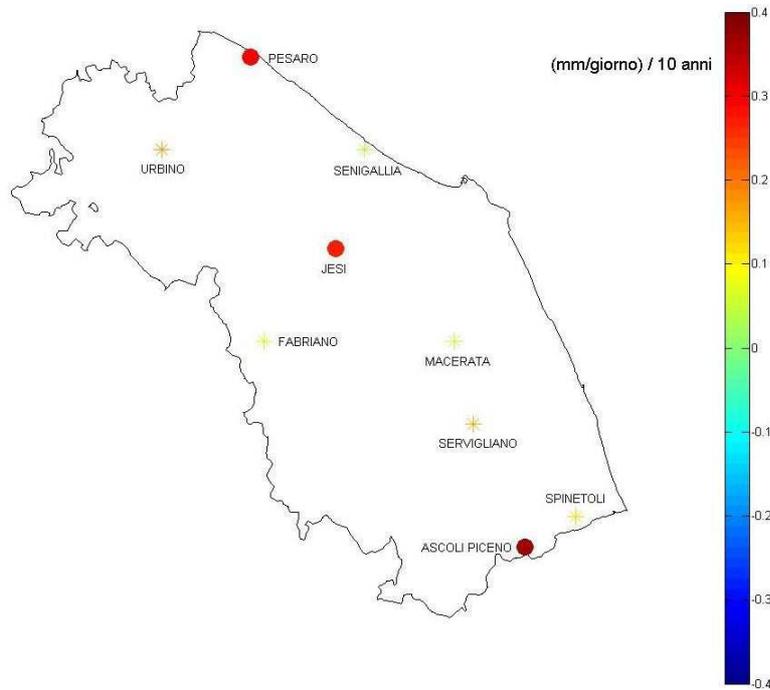


Figura 3.6 - Trend dell'indice SDII nel periodo 1961-2015. (Fabriano: 1951-2008). I trend non significativi sono indicati con l'asterisco.

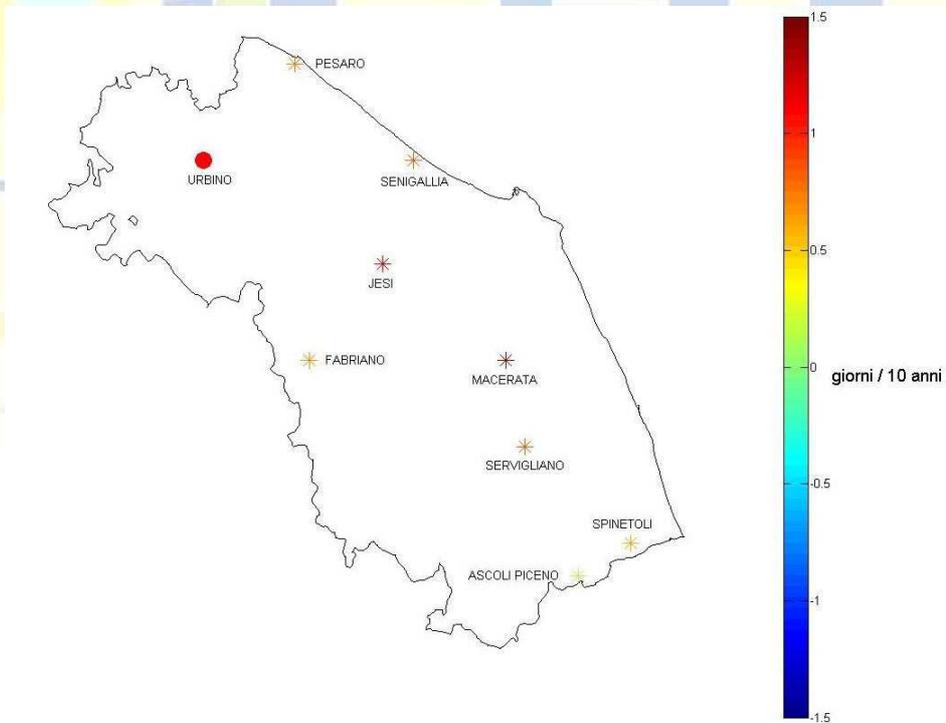


Figura 3.7 Come in figura 3.6 per l'indice CDD.



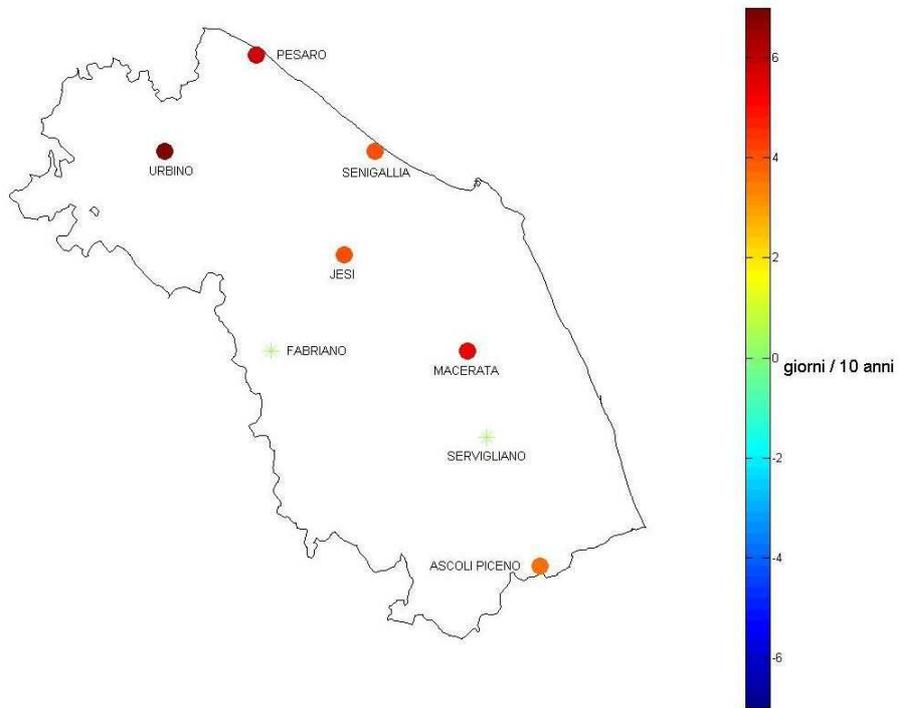


Figura 3.8 - Trend dell'indice TR20 nel periodo 1961-2015. (Fabriano: 1957-2015). I trend non significativi sono indicati con l'asterisco.

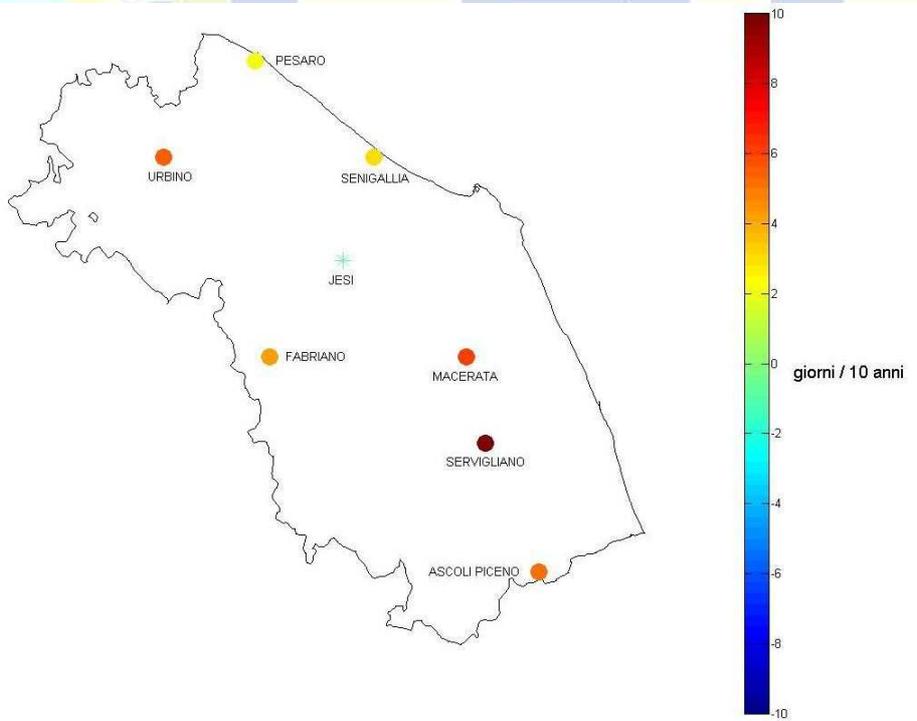


Figura 3.9 - Come in figura 3.8 per l'indice WSDI.



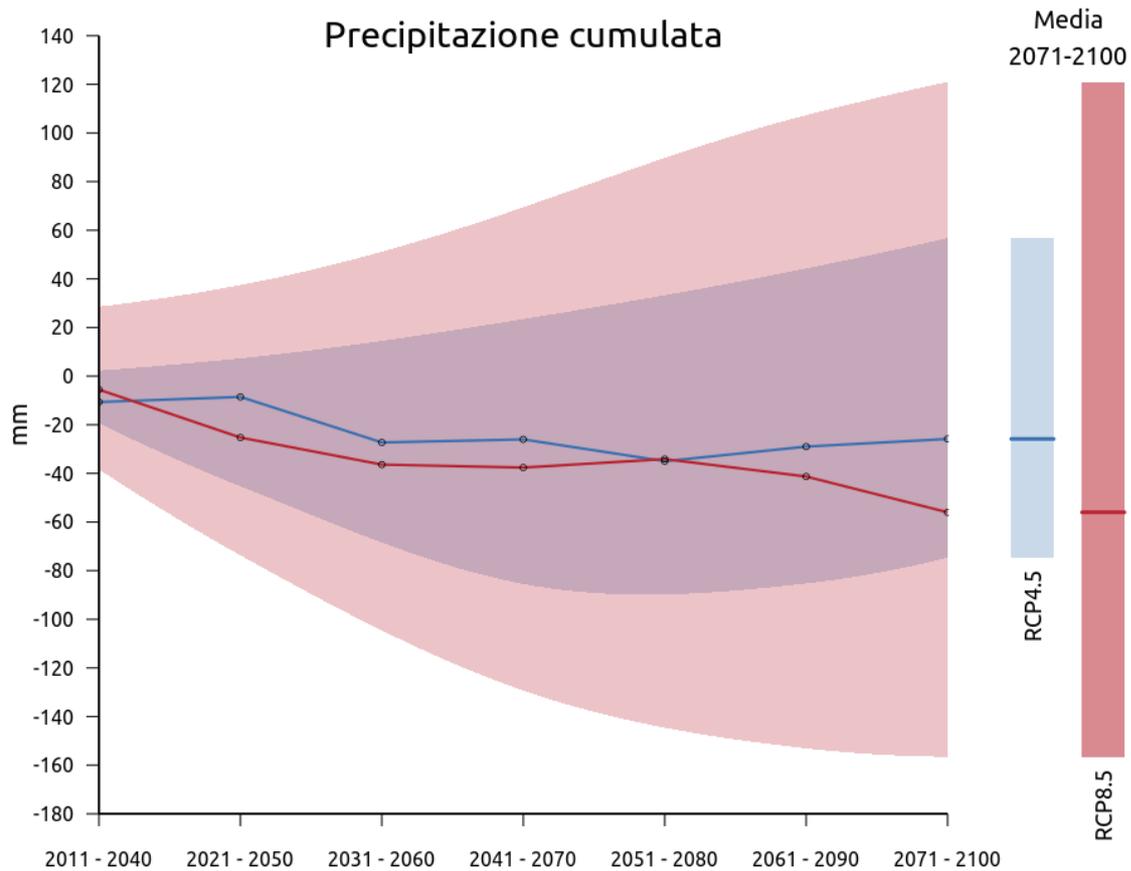


Figura 4.1 – Precipitazione cumulata. Variazioni rispetto alla media 1971-2000 dei valori previsti dai quattro modelli (media su periodi di 30 anni) nei due scenari RCP4.5 (blu) e RCP8.5 (rosso). La linea continua indica la media delle variazioni previste dai modelli (ensemble mean), mentre l'area colorata rappresenta la differenza fra il minimo e il massimo valore delle previsioni dei modelli (spread). Le linee inferiore e superiore dell'area sono state interpolate con lo stimatore "loess" (Cleveland, 1979).

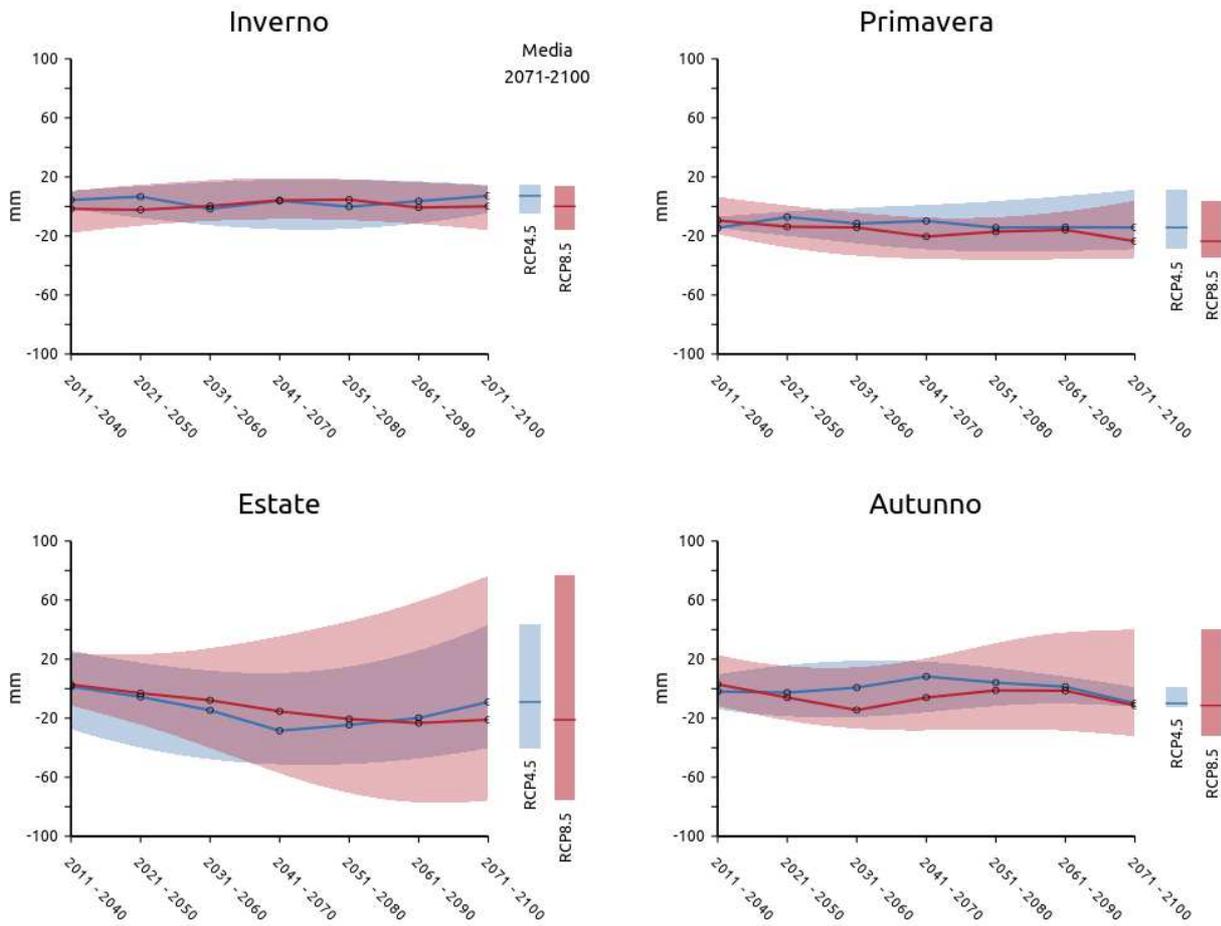


Figura 4.2 – Come in figura 4.1, per la precipitazione cumulata stagionale.





Temperatura massima

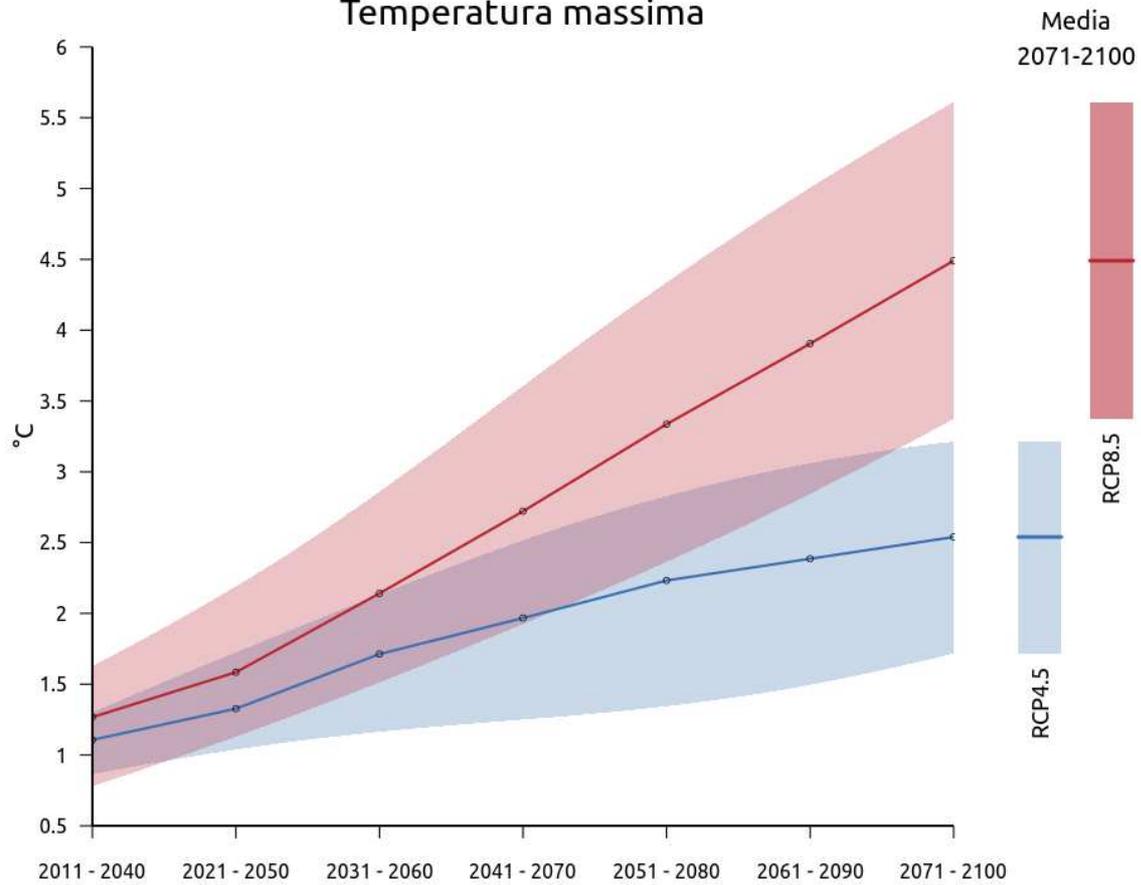


Figura 4.3 – Temperatura massima. Variazioni rispetto alla media 1971-2000 dei valori previsti dai quattro modelli (media su periodi di 30 anni) nei due scenari RCP4.5 (blu) e RCP8.5 (rosso). La linea continua indica la media delle variazioni previste dai modelli (ensemble mean), mentre l'area colorata rappresenta la differenza fra il minimo e il massimo valore delle previsioni dei modelli (spread). Le linee inferiore e superiore dell'area sono state interpolate con lo stimatore "loess" (Cleveland, 1979).



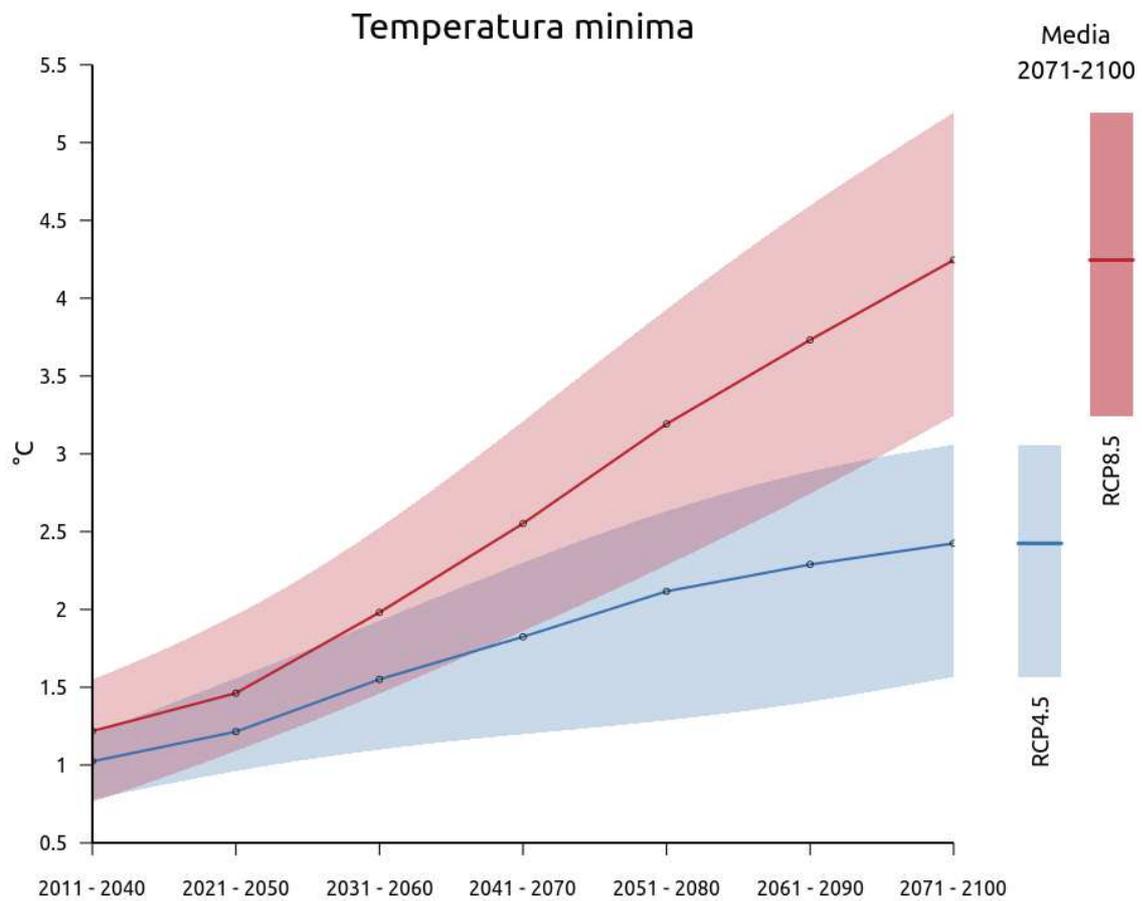


Figura 4.4 – Come in figura 4.3, per la temperatura minima.



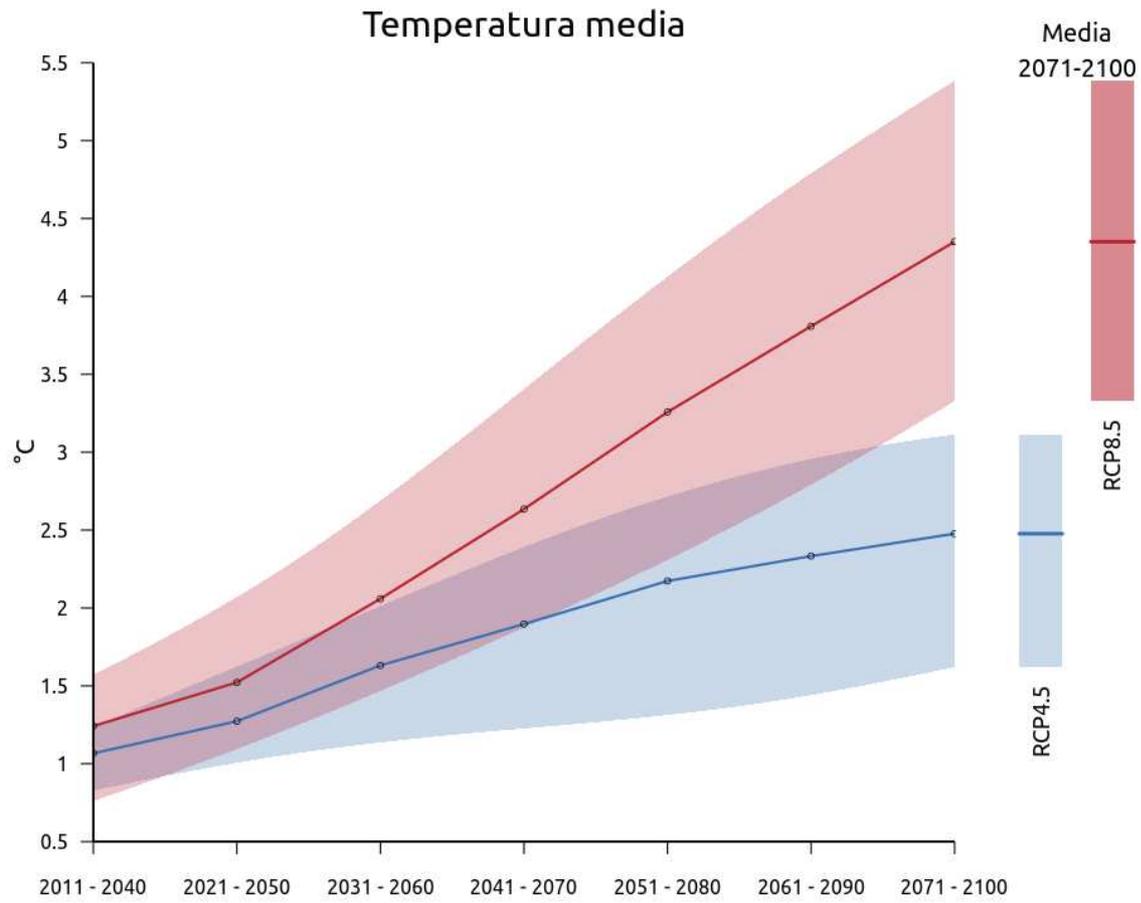


Figura 4.5 – Come in figura 4.3, per la temperatura massima.



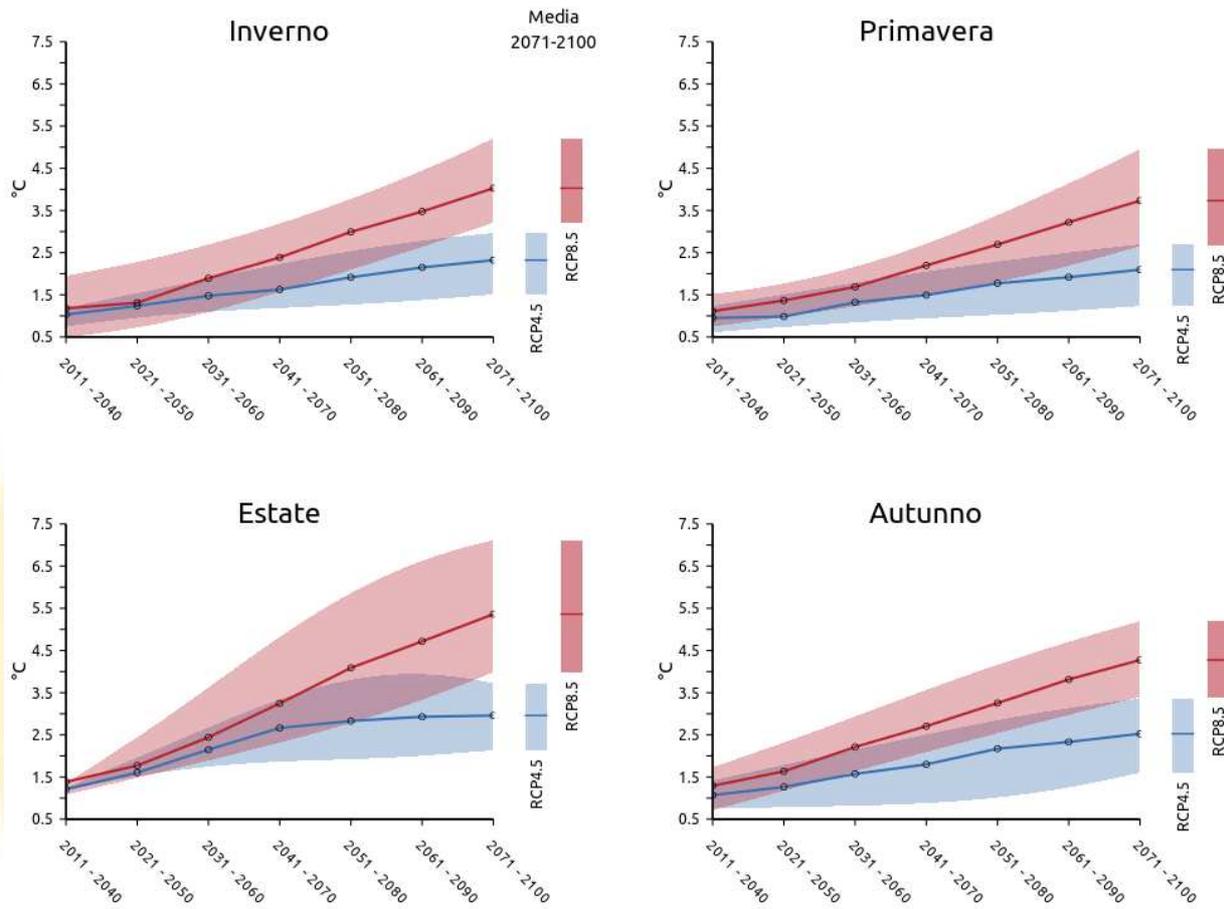


Figura 4.6 – Come in figura 4.3, per la temperatura media stagionale.



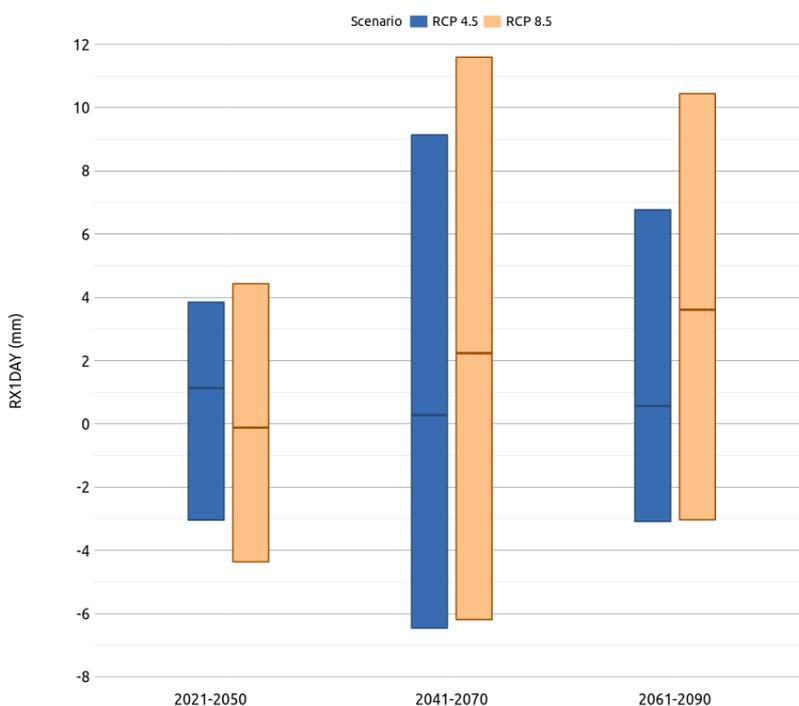


Figura 4.7 – Precipitazione massima giornaliera. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1961-2090, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

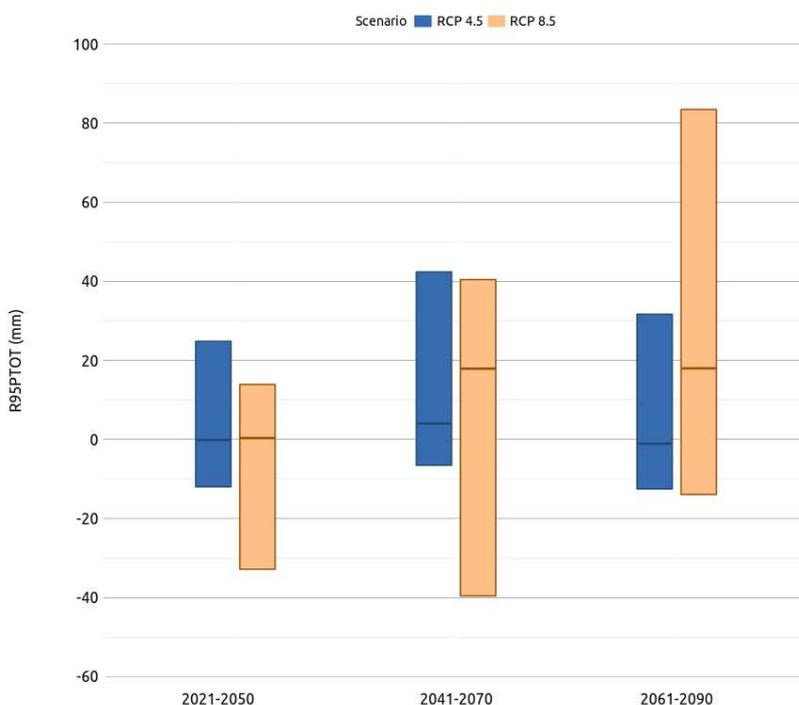


Figura 4.8 – Come in figura 4.7, per la precipitazione nei giorni molto piovosi.



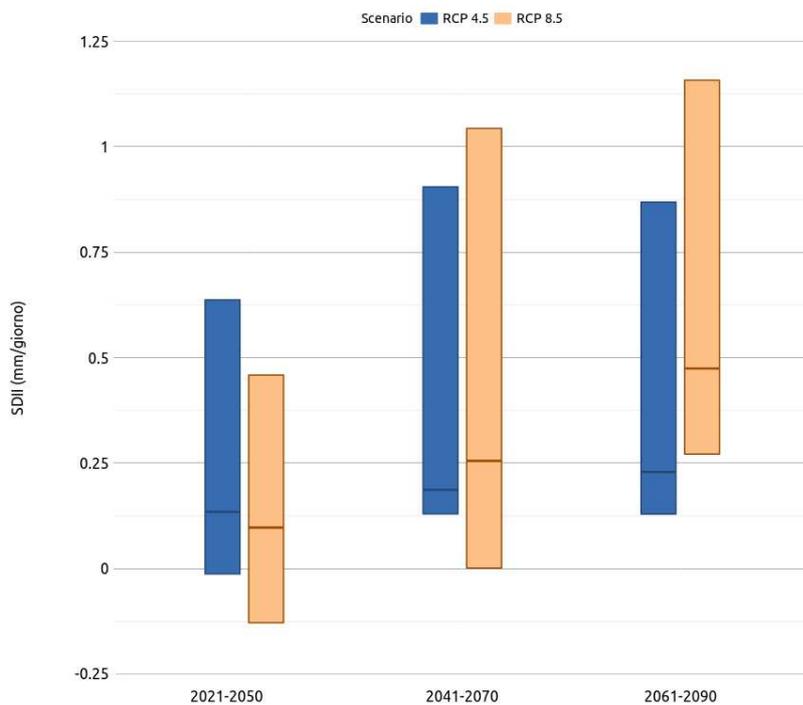


Figura 4.9 – Intensità di precipitazione giornaliera. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041- 2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

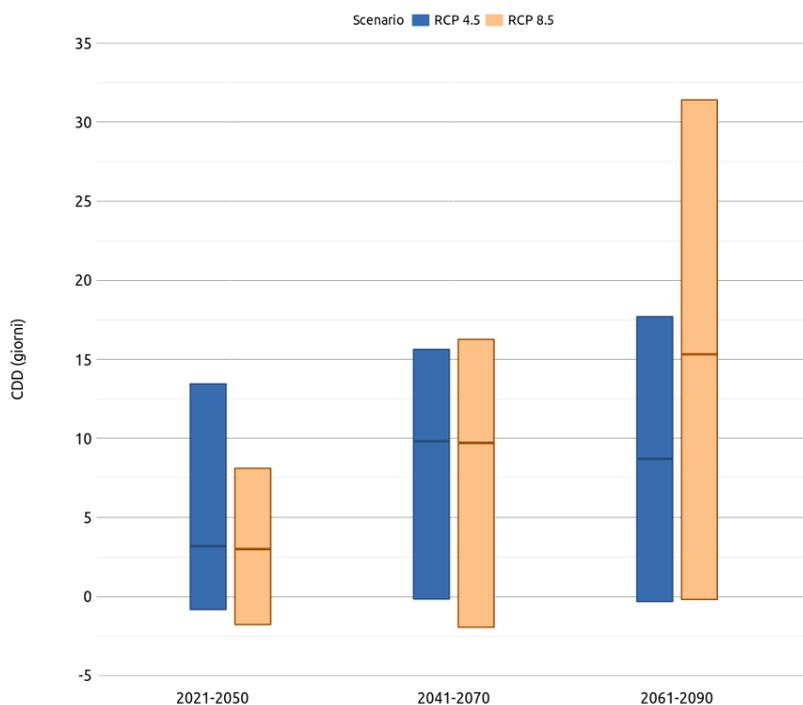


Figura 4.10 – Come in figura 4.9, per i giorni secchi consecutivi.



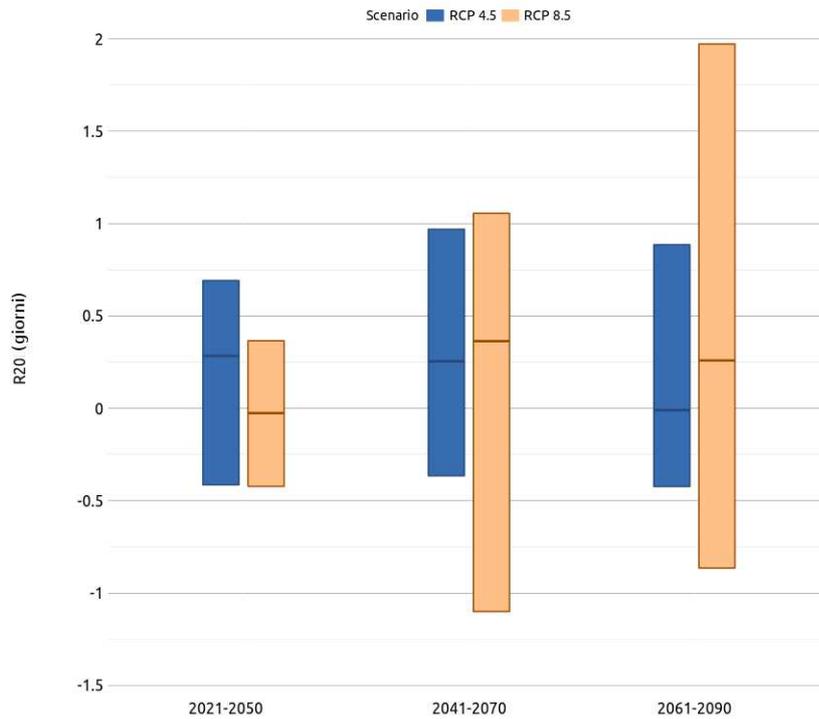


Figura 4.11 –Giorni con precipitazione molto intensa. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.



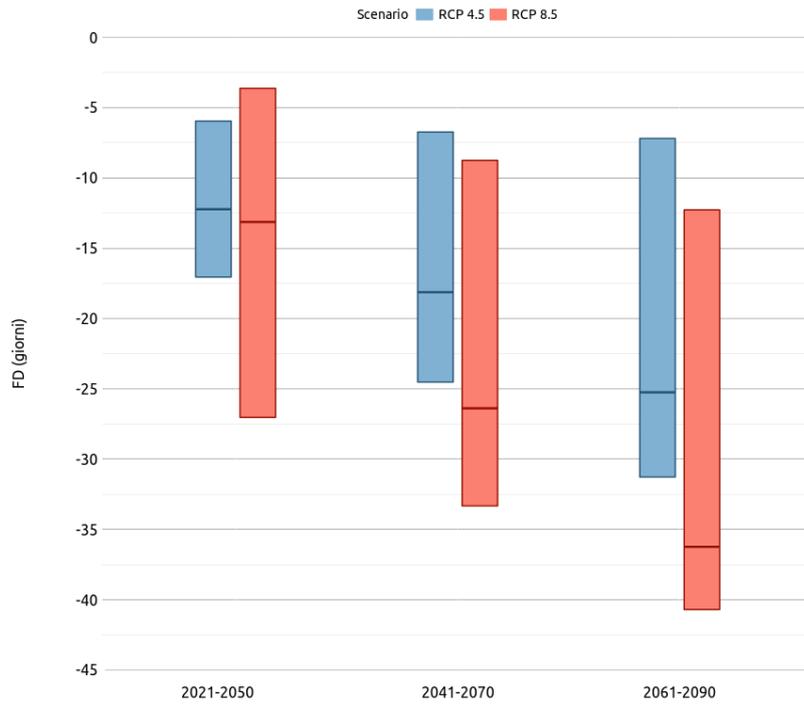


Figura 4.12 – Giorni con gelo. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

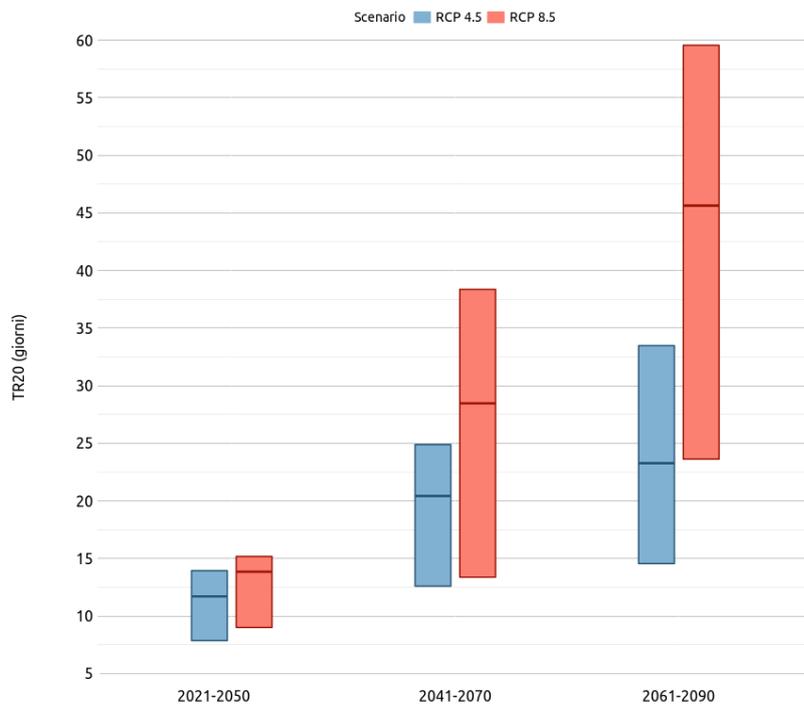


Figura 4.13 – Come in figura 4.12, per le notti tropicali.

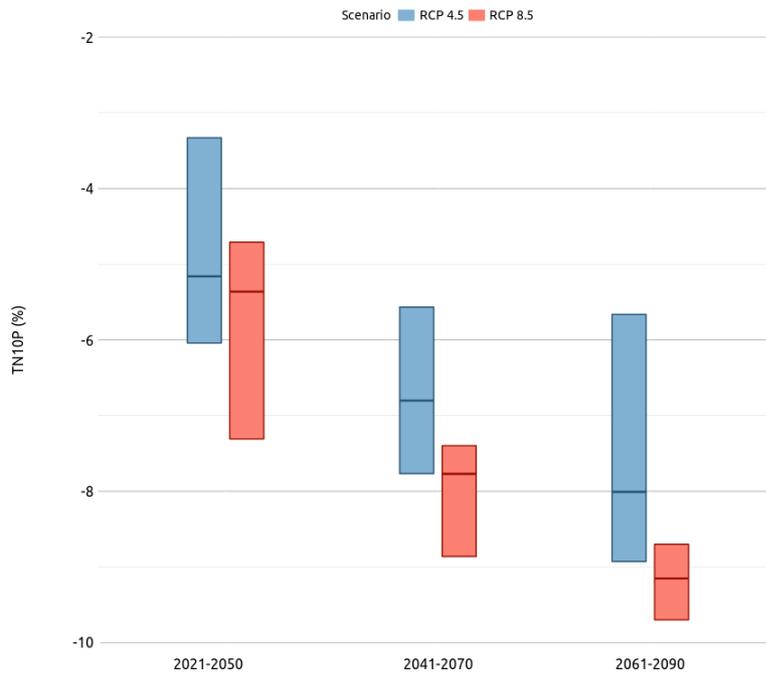


Figura 4.14 – Notti fredde. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

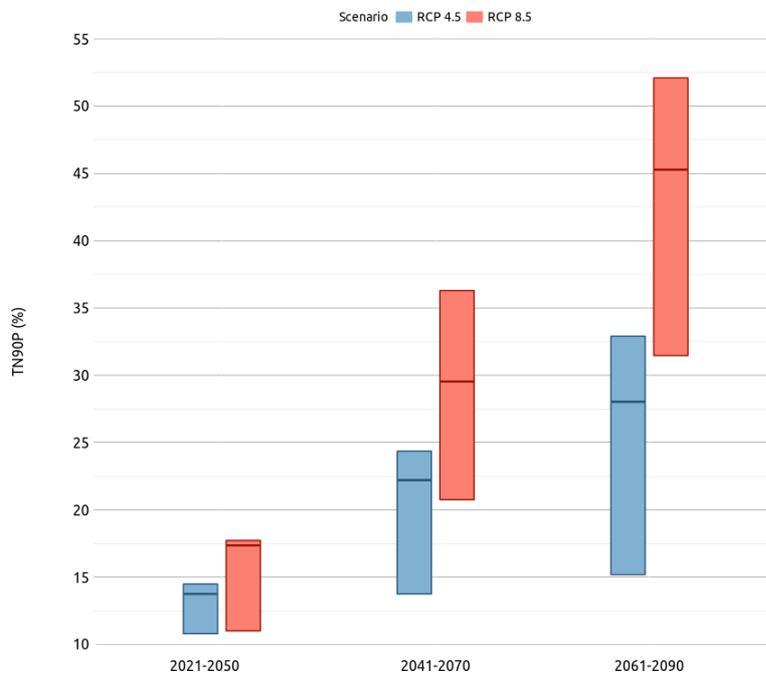


Figura 4.15 – Come in figura 4.14, per le notti calde.



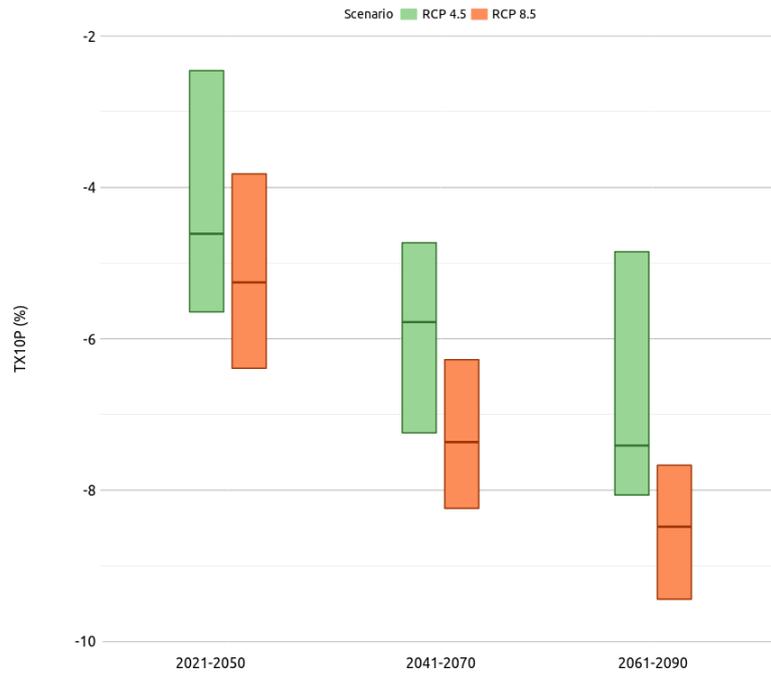


Figura 4.16 – Giorni freddi. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

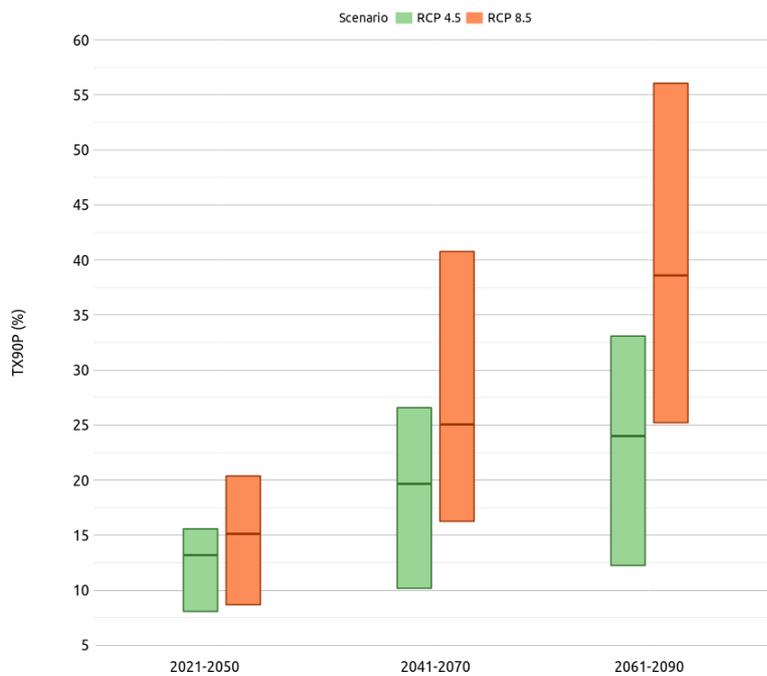


Figura 4.17 – Come in figura 4.16, per i giorni caldi.

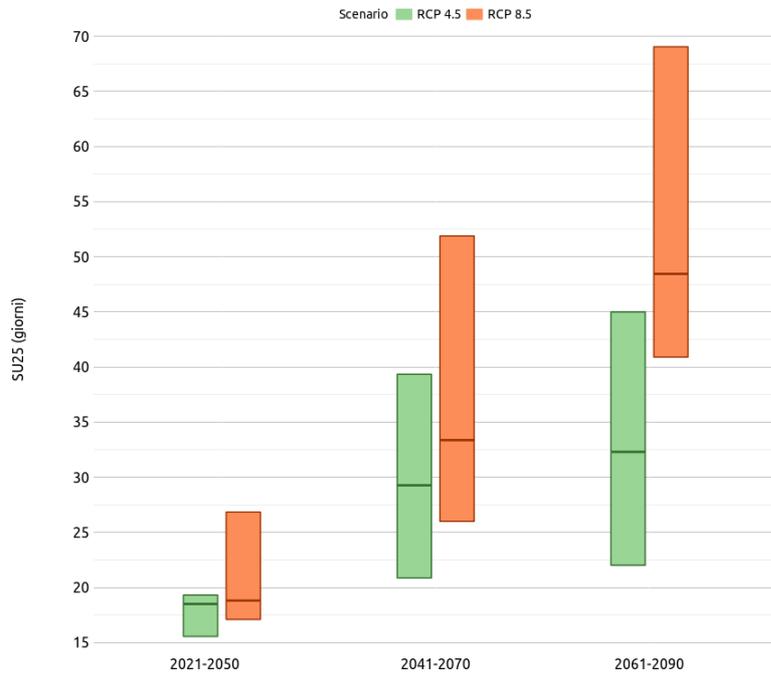


Figura 4.18 – Giorni estivi. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

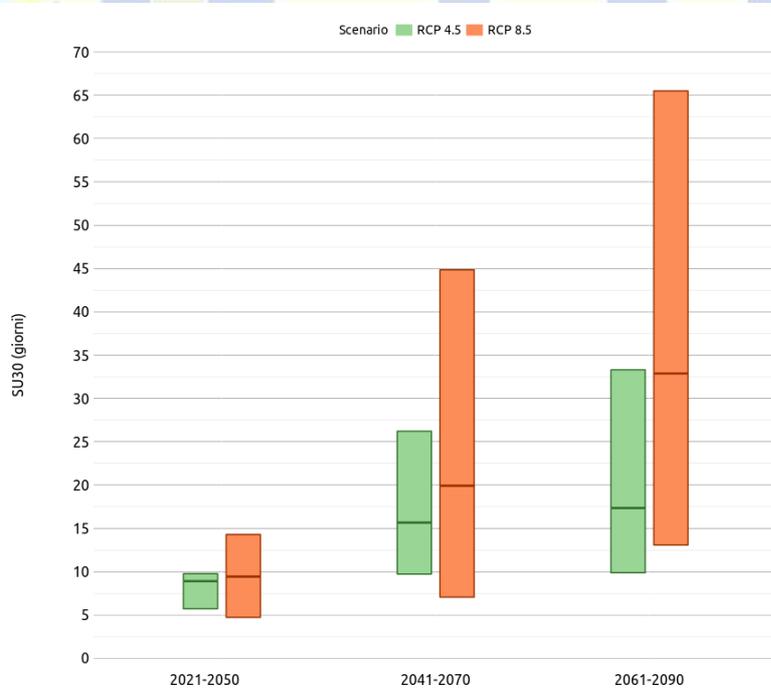


Figura 4.19 – Come in figura 4.18, per i giorni molto caldi.



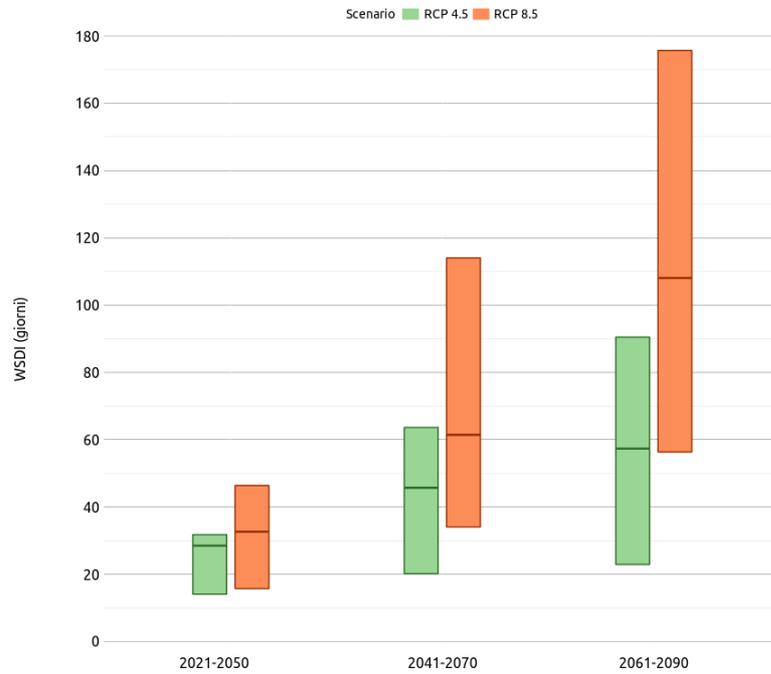


Figura 4.20 – Onde di calore. Variazioni previste ai tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070 e 2061-2090, rispetto al trentennio 1971-2000, nei due scenari RCP4.5 e RCP8.5.





Bibliografia

- Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T.C., and Wieringa J., 2003. Guidance on metadata and homogenisation. WMO TD 1186.
- Alexander L. V., Zhang X., Peterson T. C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez-Aguirre J.L., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Desiato F., 2007. SCIA. un sistema nazionale unico per i dati climatologici, ARPA Rivista, N. 1, gennaio-febbraio 2007.
- Desiato F., Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Pavan V., 2015. Gli indicatori del clima in Italia nel 2014. Rapporto ISPRA / Stato dell'Ambiente 65 / 2016.
- Desiato F., Lena F. e Toreti A., 2006. Un sistema per tutti – climatologia: i dati italiani. *Sapere*, Anno 72, n. 2, 62-69.
- 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.
- Donat M.G., Alexander L.V., Yang H., Durre I., Vose R., Dunn R., Willett K., Aguilar E., Brunet M., Caesar J., Hewitson B., Jack C., Klein Tank A.M.G., Kruger A.C., Marengo J., Peterson T.C., Renom M., Oria Rojas C., Rusticucci M., Salinger J., Sekele S.S., Srivastava A.K., Trewin B., Villarroya C., Vincent L.A., Zhai P., Zhang X., Kitching S., 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, *J Geophys Res* 118: 2098-2118. doi: 10.1002/jgrd.50150.
- Fioravanti G., Piervitali E. e Desiato F., 2015. Recent changes of temperature extremes over Italy: an indexed analysis, *Theor. Appl. Climatol.*, 119, doi: 10.1007/s00704-014-1362-1.
- Jacob D. et al, 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change*, 14:563–578. doi 10.1007/s10113-013-0499-2.
- Kendall M.G., 1976. Rank Correlation Methods. 4th edn. Griffin, London.
- Klein Tank A. M.G., Zwiers F. W., Zhang X., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring WCDMP*, 72, WMO-TD N. 1500, 56pp.
- Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate* 16: 3665–3680. doi:10.1175/1520-0442.
- Mann H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259 doi:10.2307/1907187.
- Peterson T.C., Easterling D.R., Karl T.R., Groisman P., Nicholls N., Plummer N., Torok S., Auer I., Boehm R., Gullett D., Vincent L., Heino R., Tuomenvirta H., Mestre O., Szentimrey T., Salinger J., Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Jones P., Parker D., 1998. Homogeneity adjustments of in situ





- atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatol.* 18, 1493-1517. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19981115) 18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T.
- Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N., 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001. World Meteorological Organization, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva.
- Pinna M., 1969. L'inquadramento dei climi italiani nella classificazione del Köppen. Servizio Idrografico – Roma. Pubbl. n. 21.
- Russo S. and Sterl A., 2011. Global changes in indices describing moderate temperature extremes from the daily output of a climate model. *J. Geophys. Res.* 116: D03104, doi:10.1029/2010JD014727.
- Seidel D.J. and Lanzante J.R. 2004. An assessment of three alternatives to linear trends for characterizing global atmospheric temperature changes. *J. Geophys. Res.*, 109, D14108, doi:10.1029/2003JD004414.
- Sen P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63, 1379–1389. doi: 10.1080/01621459.1968.10480934.
- Sillmann J., Kharin V.V., Zwiers F. W., Zhang X. and Bronaugh D., 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118: 2473–2493, doi:10.1002/jgrd.50188.
- Sillmann J., Roeckner E. , 2008. Indices for extreme climate events in projections of anthropogenic climate change. *Clim. Change*, 86: 83–104, doi:10.1007/s10584-007-9308-6.
- Tomé A.R., and Miranda P.M.A., 2004. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters. *Geophys. Res. Letters*, 31, L02207, doi:10.1029/2003GL019100.
- Toreti A., Desiato F., 2007, Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theor. Appl. Climatol.*, 91, 51–58.
- Toreti A., Desiato F., 2008. Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *Int. J. Climatol.*, 28, 733-745. doi: 10.1002/joc.1576.
- Wang X.L., 2008a. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. *J Atmos Ocean Technol* 25:368–384.
- Wang X.L., 2008b. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *J Appl Meteorol Climatol* 47: 2423–2444.
- Wang X.L., Wen Q.H., Wu Y., 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 46, 916–931 doi: 10.1175/JAM2504.1.
- 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.

