



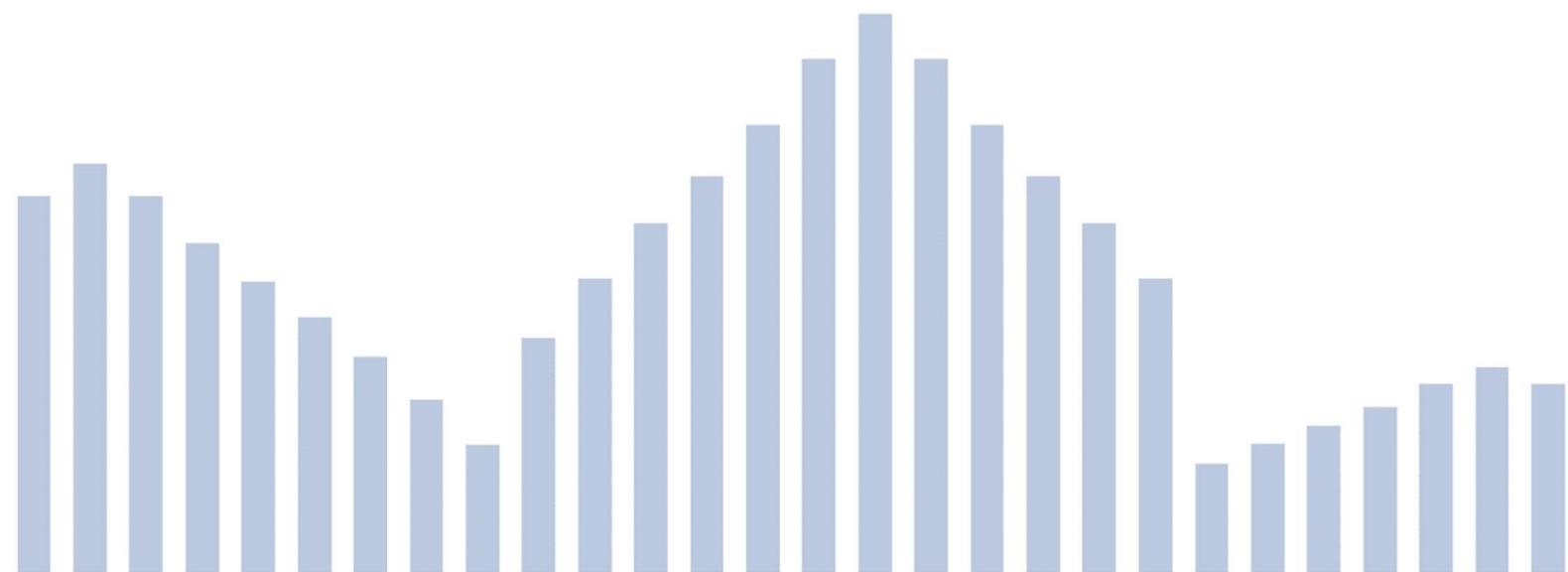
Interreg



UNIONE EUROPEA

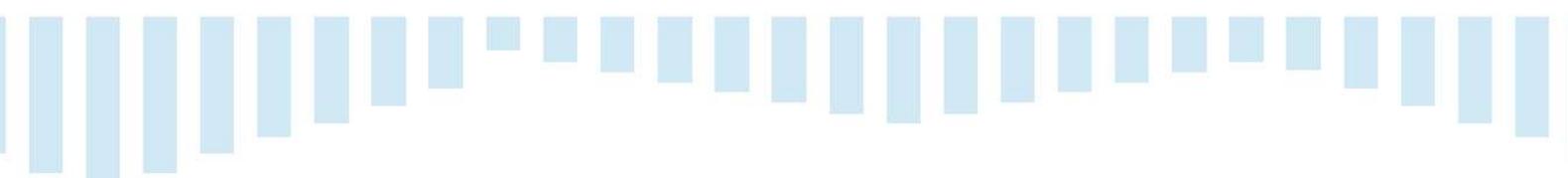
MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Profilo climatico locale

PARTNER: COMUNE DELLA SPEZIA



@ADAPTmaritime



www.interreg-maritime.eu/adapt



@ADAPT_maritime

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



INDICE

AUTORI	2
INDICE	3
LISTA FIGURE	4
LISTA TABELLE	7
LISTA ACRONIMI	8
1 INTRODUZIONE	9
2 CONTESTO CLIMATICO DI RIFERIMENTO	12
2.1 Macroregioni climatiche omogenee.....	12
2.2 Anomalie climatiche attese.....	15
2.3 Aree climatiche omogenee.....	18
3 VARIABILITÀ CLIMATICA	19
3.1 Analisi dati osservati.....	19
3.1.1 Elaborazioni a scala regionale (Regione Liguria)	22
3.1.2 Elaborazioni a scala locale (Comune della Spezia)	45
3.1.3 Sintesi analisi dati osservati	59
3.2 Scenari di cambiamento climatico.....	61
3.2.1 Proiezioni a scala europea	61
3.2.2 Proiezioni a scala nazionale	72
3.2.3 Estrazione delle proiezioni europee e nazionali per il comune della Spezia	84
3.2.4 Proiezioni a medio termine per il comune della Spezia	87
4 GLOSSARIO	91
5 BIBLIOGRAFIA	92

LISTA FIGURE

Figura 1.1	Rappresentazione schematica dell'approccio utilizzato nel <i>downscaling</i> dinamico (da F. Giorgi, 2008)	11
Figura 2.1	Ubicazione delle "macroregioni climatiche omogenee (http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf)	14
Figura 2.2	Zonazione climatica delle anomalie per lo scenario RCP4.5	16
Figura 2.3	Zonazione climatica delle anomalie per lo scenario RCP8.5	17
Figura 3.1	Localizzazione dei 94 siti storici per la precipitazione (in nero) e 34 per la temperatura (in rosso) utilizzati da ARPAL ai fini delle elaborazioni climatologiche riportate nell'Atlante Climatico della Liguria.	21
Figura 3.2	Mappe di precipitazione cumulata e del numero di giorni piovosi - Medie annuali	25
Figura 3.3	Mappe di precipitazione cumulata e del numero di giorni piovosi - Medie primaverili	26
Figura 3.4	Mappe di precipitazione cumulata e del numero di giorni piovosi - Medie estive	27
Figura 3.5	Mappe di precipitazione cumulata e del numero di giorni piovosi - Medie autunnali	28
Figura 3.6	Mappe di precipitazione cumulata e del numero di giorni piovosi - Medie invernali	29
Figura 3.7	Mappe intensità pioggia (Media annuale) e Massimo pioggia giornaliera (per T=10 e T=50 anni)	30
Figura 3.8	Mappe intensità pioggia giornaliera (Medie primaverili ed estive) ..	31
Figura 3.9	Mappe intensità pioggia giornaliera (Medie autunnali e invernali) ..	32
Figura 3.10	Mappe giorni piovosi e giorni secchi consecutivi (Medie primaverili)	33
Figura 3.11	Mappe giorni piovosi e giorni secchi consecutivi (Medie estive) ...	34
Figura 3.12	Mappe giorni piovosi e giorni secchi consecutivi (Medie autunnali)	35
Figura 3.13	Mappe giorni piovosi e giorni secchi consecutivi (Medie invernali)	36
Figura 3.14	Mappe temperatura massima e minima (Medie annuali)	38
Figura 3.15	Mappe temperatura massima e minima (Medie primaverili)	39
Figura 3.16	Mappe temperatura massima e minima (Medie estive)	40
Figura 3.17	Mappe temperatura massima e minima (Medie autunnali)	41
Figura 3.18	Mappe temperatura massima e minima (Medie invernali)	42
Figura 3.19	Mappe escursione termica e frost days - Medie annuali	43
Figura 3.20	Mappe 10° percentile (Media Invernale) Tmin e 90° percentile Tmax (Media Estiva)	44
Figura 3.21	Localizzazione delle stazioni utilizzate per l'analisi a scala locale	45
Figura 3.22	Analisi precipitazione stazione di "La Spezia"	48
Figura 3.23	Analisi precipitazione stazione di "Sarzana"	49
Figura 3.24	Analisi precipitazione stazione di "Levanto"	50
Figura 3.25	Analisi precipitazione stazione di "Montale Di Levanto"	51
Figura 3.26	Analisi precipitazione stazione di "Calice Al Cornoviglio"	52
Figura 3.27	Analisi precipitazione stazione di "Serò Di Zignago"	53
Figura 3.28	Analisi precipitazione stazione di "S. Margherita Vara"	54
Figura 3.29	Analisi temperatura stazione di "La Spezia"	56
Figura 3.30	Analisi temperatura stazione di "Calice Al Cornoviglio"	57
Figura 3.31	Analisi temperatura stazione di "S. Margherita Vara"	58
Figura 3.32	Classificazione sub-regionale delle regioni europee dell'IPCC	61
Figura 3.33	Proiezioni dei cambiamenti della precipitazione totale annua (%) (<i>sinistra</i>) e della temperatura media annua [K] (<i>destra</i>) per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 per i differenti scenari A1B (e, f), RCP8.5 (c, d) e RCP4.5 (a, b). Le aree evidenziate con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti di precipitazione	

statisticamente robusti e/o significativi (**a, c, e**). I cambiamenti della temperatura sono robusti e significativi lungo tutto l'intero continente europeo (**b, d, f**) (Jacob et al., 2014)..... 65

Figura 3.34 Proiezioni dei cambiamenti stagionali delle precipitazioni intense (%) basate sullo scenario RCP8.5 per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000. Le aree evidenziate con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti statisticamente robusti e/o significativi. 66

Figura 3.35 Proiezioni dei cambiamenti stagionali delle precipitazioni intense (%) basate sullo scenario A1B per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000. Le aree evidenziate con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti statisticamente robusti e/o significativi .. 67

Figura 3.36 Proiezioni dei cambiamenti stagionali delle precipitazioni intense (%) basate sullo scenario RCP4.5 per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000. Le aree evidenziate con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti statisticamente robusti e/o significativi 68

Figura 3.37 Frequenze dell'intensità di pioggia giornaliera di un insieme di cinque simulazioni GCM e delle corrispondenti RCMs per il periodo di riferimento 1971-2000 all'interno di una regione centrale del dominio EURO-CORDEX (45°N-50°N and 2°E-17°E). 69

Figura 3.38 Variazioni temporali delle frequenze di precipitazione comprese fra il 2021-2050 ed il periodo di riferimento 1971-2000 per RCP4.5 e RCP8.5 derivate da GCM e RCM 69

Figura 3.39 Proiezioni dei cambiamenti del 95° percentile della durata dei periodi di siccità (in giorni) per il periodo 2021-2050 comparato con il periodo 1971-2000 (**a, c, e**) e per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 (**b, d, f**) per gli scenari A1B (**a, b**), RCP8.5 (**c, d**) e RCP4.5 (**e, f**). Le aree evidenziate con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti statisticamente robusti e/o significativi 70

Figura 3.40 Proiezioni dei cambiamenti nel numero medio delle ondate di calore nei mesi fra maggio e settembre per il periodo 2021-2050 comparato con il periodo 1971-2000 (**a, b**) e per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 (da **c** a **f**). Le ondate di calore dalla figura **a** alla figura **d** sono definite come periodi di più di tre giorni consecutivi che eccedono il 99° percentile della temperatura massima giornaliera del periodo compreso fra maggio e settembre per il periodo di riferimento 1971-2000. Le ondate di calore nelle figure **e** e **f** sono definite come periodi di più di 5 giorni consecutivi con temperatura massima giornaliera che eccede di almeno 5°C la media delle temperature massime nei mesi compresi fra maggio e settembre per il periodo 1971-2000. Le proiezioni sono basate sugli scenari A1B (**e**), RCP8.5 (**b, d, f**) e RCP4.5 (**a, c**). Le aree con pattern obliqui indicano regioni con cambiamenti statisticamente robusti e/o significativi .. 71

Figura 3.41 Proiezioni climatiche di temperatura (in °C) per lo scenario RCP4.5. Differenze stagionali di temperatura per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 per: (a) dicembre, gennaio, febbraio, (b) marzo, aprile maggio, (c) giugno luglio e agosto e (d) settembre, ottobre, novembre. (S=significativo, NS=non significativo) 73

Figura 3.42 Proiezioni climatiche di temperatura (in °C) per lo scenario RCP8.5. Differenze stagionali di temperatura per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 per: (a) dicembre, gennaio, febbraio, (b) marzo, aprile maggio, (c) giugno luglio e agosto e (d) settembre, ottobre, novembre. (S=significativo, NS=non significativo) 73

Figura 3.43 Serie temporali e trend di temperatura (in °C) per l'Italia Settentrionale, Centrale e Meridionale per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 74



Figura 3.44 Proiezioni climatiche di pioggia (in mm anno⁻¹) per lo scenario RCP4.5. Differenze stagionali di pioggia per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 per: (a) dicembre, gennaio, febbraio, (b) marzo, aprile maggio, (c) giugno luglio e agosto e (d) settembre, ottobre, novembre. (S=significativo, NS=non significativo) 75

Figura 3.45 Proiezioni climatiche di pioggia (in mm anno⁻¹) per lo scenario RCP8.5. Differenze stagionali di pioggia per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000 per: (a) dicembre, gennaio, febbraio, (b) marzo, aprile maggio, (c) giugno luglio e agosto e (d) settembre, ottobre, novembre. (S=significativo, NS=non significativo) 75

Figura 3.46 Serie temporali e trend di pioggia (in mm anno⁻¹) per l'Italia Settentrionale, Centrale e Meridionale per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 76

Figura 3.47 BIAS della temperatura media (espressa in °C) per la stagione invernale (dicembre, gennaio, febbraio) rispetto alle E-OBS per (a) Italy8km, (b) Italy14km, (c) Italy25km e (d) Italy8kmCM. 77

Figura 3.48 BIAS della temperatura media (espressa in °C) per la stagione estiva (giugno, luglio, agosto) rispetto alle E-OBS per (a) Italy8km, (b) Italy14km, (c) Italy25km e (d) Italy8kmCM. 78

Figura 3.49 BIAS della precipitazione (espressa in mm anno⁻¹) per la stagione invernale (dicembre, gennaio, febbraio) rispetto alle E-OBS per (a) Italy8km, (b) Italy14km, (c) Italy25km e (d) Italy8kmCM. 78

Figura 3.50 BIAS della precipitazione (espressa in mm anno⁻¹) per la stagione estiva (giugno, luglio, agosto) rispetto alle E-OBS per (a) Italy8km, (b) Italy14km, (c) Italy25km e (d) Italy8kmCM. 79

Figura 3.51 Segnale dei cambiamenti climatici per il periodo 2071-2100 rispetto al 1981-2010 per la precipitazione media, la temperatura massima e la temperatura minima 83



LISTA TABELLE

Tabella 2-1	Indicatori climatici utilizzati nella definizione delle "macroregioni climatiche omogenee" (http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf).....	13
Tabella 2-2	Valori medi degli indicatori climatici delle sei "macroregioni climatiche omogenee". Le medie sono state calcolate nel periodo compreso fra il 1981 e il 2010.....	14
Tabella 2-3	Valori medi dei cluster di anomalia individuati per lo scenario RCP4.5.....	17
Tabella 2-4	Valori medi dei cluster di anomalia individuati per lo scenario RCP8.5.....	17
Tabella 3-1	Anagrafica delle stazioni ARPAL utilizzate per le analisi climatiche.....	20
Tabella 3-2	Estremi assoluti di precipitazione e temperatura misurati nelle stazioni riportate in Tabella 3-1 nel periodo 1961-2010.....	22
Tabella 3-3	Elenco delle stazioni utilizzate per l'analisi a scala locale	45
Tabella 3-4	Correlazione spaziale degli scenari di emissione SRES A1B e RCP8.5 per le variazioni di temperatura media annua e di precipitazione totale annua nelle sotto-regioni europee IPCC per i periodi di tempo 2021-2050 e 2071-2100.....	63
Tabella 3-5	Proiezioni dei cambiamenti dei parametri climatici per il periodo 2071-2100 rispetto al 1971-2000 per le sotto-regioni europee IPCC per lo scenario A1B.....	63
Tabella 3-6	Proiezioni dei cambiamenti dei parametri climatici per il 2071-2100 rispetto al 1971-2000 per le sotto-regioni europee IPCC per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.....	64
Tabella 3-7	Indicatori climatici estremi utilizzati da Zollo et al. (2016) nell'analisi delle condizioni climatiche estreme presenti e future in Italia.....	82
Tabella 3-8	Sintesi cambiamenti climatici attesi nel Comune della Spezia in riferimento al periodo 1971-2000 derivati dalle proiezioni a scala europea.....	84
Tabella 3-9	Sintesi cambiamenti climatici attesi nel Comune della Spezia in riferimento al periodo 1971-2000 derivati dalle proiezioni a scala nazionale.....	86
Tabella 3-10	Lista dei modelli utilizzati per le proiezioni a medio termine e loro caratteristiche.....	87
Tabella 3-11	Variazioni percentuali stagionali e annuali di precipitazione per il periodo 2041-2070 rispetto al periodo storico 1981-2005, considerando lo scenario RCP4.5.....	88
Tabella 3-12	Variazioni percentuali stagionali e annuali di precipitazione per il periodo 2041-2017 rispetto al periodo storico 1981-2005, considerando lo scenario RCP8.5.....	88
Tabella 3-13	Variazioni percentuali medie di precipitazione per il periodo 2041-2070 rispetto al periodo 1981-2005, considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per l'ensemble dei modelli (<i>multimodel mean</i>).....	88
Tabella 3-14	Variazioni stagionali e annuali (in °C) di temperatura per il periodo 2041-2070 rispetto al periodo storico 1981-2005, considerando lo scenario RCP4.5.....	89
Tabella 3-15	Variazioni stagionali e annuali (in °C) di temperatura per il periodo 2041-2070 rispetto al periodo storico 1981-2005, considerando lo scenario RCP4.5.....	89
Tabella 3-16	Variazioni stagionali e annuali medie di temperatura per il periodo 2041-2070 rispetto al periodo 1981-2005, considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per l'ensemble dei modelli (<i>multimodel mean</i>).....	90

LISTA ACRONIMI

ACRONIMO	SIGNIFICATO
CLM	<i>Climate Local Model</i>
CM	<i>Climate model</i>
CMCC	<i>Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici</i>
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i>
DJF	<i>December January February</i>
EURO-CORDEX	<i>COoRdinated Downscaling EXperiment - EUROpean domain</i>
GCM	<i>General Circulation Model</i>
GEV	<i>General Extreme Value</i>
GHG	<i>Green House Gases</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JJA	<i>June July August</i>
MAM	<i>March April May</i>
RCM	<i>Regional Circulation Model</i>
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
SON	<i>September October November</i>
SRES	<i>Special Report on Emission Scenario</i>
WCRP	<i>World Climate Research Program</i>

1 INTRODUZIONE

Il presente documento denominato "Profilo Climatico Locale" redatto nell'ambito del progetto **ADAPT "Assistere l'ADAttamento ai cambiamenti climatici dei sistemi urbani dello sPazio TTransfrontaliero"**, si propone di identificare e promuovere strategie per l'adattamento ai cambiamenti climatici e per la prevenzione e la gestione dei rischi per rendere le **città** italiane e francesi della regione transfrontaliera dell'Alto Tirreno **maggiormente capaci di adattarsi** alle conseguenze dei cambiamenti climatici, con particolare riferimento alle **alluvioni urbane** causate da piogge improvvise e intense. Tale documento costituisce il principale strumento per l'identificazione e lo sviluppo di misure di adattamento ed aumento della resilienza ai cambiamenti climatici attesi nel territorio comunale.

L'individuazione di strategie utili ed efficaci per l'adattamento ai cambiamenti climatici nel Comune della Spezia, richiede (i) la conoscenza e la caratterizzazione climatica del territorio comunale, (ii) l'identificazione degli scenari e delle proiezioni di cambiamento climatico attesi all'interno di esso e (iii) l'identificazione dei loro possibili impatti sui rischi naturali ed antropici.

Per l'assemblaggio di tutti i dati, informazioni, risultati modellistici e altre conoscenze utili alla redazione del presente documento, sono stati prioritariamente considerati i prodotti relativi al territorio comunale già efficacemente sviluppati in ambito istituzionale e da altri progetti riguardanti le tematiche sopra riportate. Ove utilizzati tali prodotti sono adeguatamente citati.

Il documento è stato redatto conformemente alle "Linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali" del progetto ADAPT (Interreg Marittimo - IT FR-Maritime) ed è strutturato nelle seguenti sezioni:

- Sezione "Contesto climatico di riferimento" dove viene individuato tale contesto considerando le caratteristiche di base del clima osservato e del cambiamento climatico atteso nell'area del Comune della Spezia;
- Sezione "Variabilità climatica" dove viene caratterizzata la variabilità climatica nel passato e quella attesa, identificando i possibili cambiamenti climatici in base ai risultati modellistici disponibili in letteratura.

Nel documento ci si riferisce a concetti e terminologie relative al clima e ai cambiamenti climatici comunemente utilizzati nella letteratura scientifica e nella documentazione istituzionale. Di seguito si riportano alcuni concetti generali utili per una migliore comprensione del documento, ulteriormente elencati in uno specifico glossario (§4).

Con il termine indicatori climatici si intende l'insieme dei parametri sintetici, derivanti da una o più grandezze meteorologiche fondamentali misurabili (temperatura, precipitazione, vento, etc..) individuati allo scopo di mettere in luce aspetti significativi dell'andamento medio meteorologico in una data zona, evidenziando le eventuali variazioni sul lungo periodo.

Esistono diversi set di dati contenenti indicatori climatici osservati. A livello globale tra i più utilizzati si menziona il *dataset* ERA-Interim Reanalysis, e scala europea e sub-europea i *dataset* E-OBS ed EURO4M.

ERA-Interim Reanalysis è una rianalisi atmosferica globale dal 1979, continuamente aggiornata in tempo reale

(<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim>).

E-OBS è un *dataset* grigliato contenente dati di osservazioni giornaliere di temperatura, precipitazioni e pressione provenienti da stazioni meteorologiche di tutta Europa e del Mediterraneo (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/e-obs-gridded-dataset>).

EURO4M-APGD (EURO4M) è un *dataset* grigliato relativo alle precipitazioni giornaliere nell'arco alpino (<http://www.meteoswiss.admin.ch/home/search.subpage.html/en/data/products/2015/alpine-precipitation.html>).

Con il termine scenario di emissione si intende la rappresentazione plausibile del futuro sviluppo delle emissioni di sostanze clima alteranti e radiativamente attive (per esempio, gas serra e aerosol). Tale rappresentazione è in genere basata su assunzioni relative a diverse forzanti (quali sviluppo demografico e socio-economico, cambiamenti tecnologici, ecc.) e le loro relazioni chiave. Gli scenari di concentrazione, derivati dagli scenari di emissione, sono impiegati come input dei modelli climatici, per vincolare le proiezioni climatiche (http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf). Nel presente documento si fa riferimento allo scenario A1B dello "Special Report on Emission Scenario" (SRES) e agli scenari "Representative Concentration Pathways" (RCP) RCP4.5 e RCP8.5 definiti dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) di seguito descritti. Le proiezioni RCP4.5 e RCP8.5, si differenziano in termini di incremento di forzante radiativa ($W\ m^{-2}$) al 2100 rispetto al periodo pre-industriale (1765). RCP4.5 è riconosciuto come uno scenario di stabilizzazione (incremento di forzante radiativa $4,5\ W\ m^{-2}$), mentre l'RCP8.5 è classificato come pessimistico. Nel dettaglio, RCP4.5 assume un picco nelle emissioni globali di gas serra nel 2040 ed una conseguente diminuzione dovute all'adozione misure di mitigazione; RCP8.5 invece considera emissioni di gas serra in aumento per tutto il 21° secolo senza alcuna misura di riduzione (*business as usual*) (Meinshausen et al., 2011). Lo scenario A1B riportato (Nakicenovic et al., 2000) assume una rapida crescita economica e uno sviluppo di tecnologie, con una popolazione mondiale che raggiunge il picco nella metà del XXI secolo e un uso equilibrato delle risorse energetiche. Esso prevede inoltre un rapido aumento delle emissioni di CO₂ fossile fino al 2050 e una diminuzione in seguito. Le RCPs, definite per il quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (Moss et al., 2010), a differenza degli scenari SRES, non specificano scenari socioeconomici, ma assumono differenti percorsi verso diversi valori target di forzante radiativo alla fine del 21° secolo.

Con il termine modello climatico si intende la rappresentazione numerica del sistema climatico basata sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche delle sue componenti, sulle loro interazioni e processi di feedback, tenendo in considerazione alcune delle loro proprietà conosciute. I modelli climatici sono impiegati come strumenti di ricerca per studiare e simulare il clima, o con finalità operative, incluse le previsioni climatiche su base mensile, stagionale e interannuale (http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf). I modelli numerici di circolazione, altrimenti detti *Circulation Models* (CM), sono un tipo di modello climatico. Nel testo si fa riferimento a modelli numerici generali (*General Circulation Models*, GCMs) e a modelli numerici regionali (*Regional Circulation Models*, RCMs). I GCMs rappresentano i processi fisici nell'atmosfera, nell'oceano, nella criosfera e nella superficie terrestre. Attualmente sono gli strumenti più avanzati per simulare la risposta del sistema climatico globale all'aumento delle concentrazioni di gas serra. I GCMs descrivono il clima utilizzando una griglia tridimensionale sul globo, in genere con una risoluzione orizzontale compresa tra 250 e 600 km, da 10 a 20 strati verticali nell'atmosfera e talvolta fino a 30 strati negli oceani. La loro risoluzione è quindi abbastanza grossolana, costituendo una fonte di incertezza (http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html). Per descrivere le conseguenze locali del cambiamento globale risultante da modelli numerici

generali (GCMs) si utilizzano tecniche di *downscaling* che possono essere di tipo empirico-statistico o tecniche di tipo dinamico attraverso l'utilizzo di modelli numerici regionali (RCMs). La Figura 1.1 mostra un esempio di rappresentazione schematica dell'approccio utilizzato nel *downscaling* dinamico.

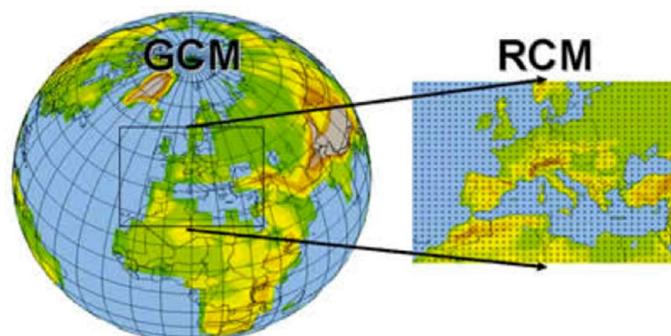


FIGURA 1.1 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELL'APPROCCIO UTILIZZATO NEL *DOWNSCALING* DINAMICO (DA F. GIORGI, 2008)

Le tecniche di tipo empirico-statistico si basano sull'utilizzo di relazioni statistiche tra i predittori sinottici (su larga scala) e le variabili locali, quest'ultime disponibili tramite lunghe serie temporali di osservazioni utili per derivare e validare le relazioni statistiche. Le tecniche di *downscaling* statistico hanno il vantaggio di permettere di arrivare al punto/stazione. Le tecniche di *downscaling* dinamico utilizzano, invece, modelli climatici regionali. Essendo basati su leggi fisiche, essi generalmente riescono a fornire una buona rappresentazione del clima locale; tuttavia essi sono soggetti ad errore, specialmente per effetto della risoluzione non adeguata (a rappresentare alcuni fenomeni) e delle parametrizzazioni adottate. Per tale motivo esistono dei coefficienti denominati di *skills* (ad esempio BIAS, MAE, correlazione) in grado di fornire una valutazione delle performance del modello, e di conseguenza della sua robustezza. La verifica delle performance del modello viene effettuata confrontando il risultato del modello con le osservazioni disponibili su un periodo di riferimento di almeno 30 anni ("Linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali" del progetto ADAPT). Nella redazione del presente documento, sono stati utilizzati modelli opportunamente valutati e verificati, riportando sinteticamente i relativi risultati e la letteratura di riferimento.

Nell'analisi delle proiezioni a scala europea e scala nazionale si fa riferimento prioritariamente a risultati di modelli numerici regionali RCM. In particolare a scala europea sono stati considerati i risultati dell'iniziativa EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>) che ha fornito proiezioni climatiche regionali per l'Europa con una risoluzione di 50 km (EUR-44) e 12,5 km (EUR-11). Tali simulazioni risultano dal *downscaling* delle proiezioni climatiche globali prodotte nell'ambito del progetto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (Taylor et al., 2012) e degli RCPs definiti per il quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011). Per quanto riguarda invece la scala nazionale sono stati considerati i risultati del modello climatico regionale (RCM) COSMO-CLM (Rockel and Geyer, 2008a) operato dal Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC), guidato dal CMCC-CM (Scoccimarro et al., 2011) che è un modello di circolazione generale (GCM) accoppiato atmosfera-oceano. Tale modello regionale è il risultato del *downscaling* dinamico di modelli climatici globali. Infine sono stati considerati gli output di proiezione di precipitazione e temperatura di un *ensemble* di modelli EURO-CORDEX a medio termine focalizzato sul territorio comunale.

2 CONTESTO CLIMATICO DI RIFERIMENTO

Al fine di individuare un chiaro contesto di riferimento, le caratteristiche di base del clima osservato e del cambiamento climatico atteso nell'area del Comune della Spezia sono state inquadrare considerando la "macroregione climatica omogenea" e l'"area climatica omogenea" di appartenenza così come individuate dal Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, accessibile presso

http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf).

Le "macroregioni climatiche omogenee" sono definite come porzioni del territorio per le quali i dati osservati riportano condizioni climatiche simili negli ultimi trent'anni (1981-2010). Le "aree climatiche omogenee" sono definite attraverso la sovrapposizione delle macroregioni climatiche omogenee e della zonazione delle anomalie, in modo da definire aree con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura.

2.1 Macroregioni climatiche omogenee

Il PNACC individua sei "macroregioni climatiche omogenee" per le quali i dati osservati utilizzati riportano condizioni climatiche simili negli ultimi trent'anni (1981-2010). Tali macroregioni rappresentano la base per lo studio delle anomalie climatiche future e la definizione delle "aree climatiche omogenee" nazionali.

Il set di indicatori climatici utilizzati per la loro definizione è riportato in Tabella 2-1 (http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf).

TABELLA 2-1 INDICATORI CLIMATICI UTILIZZATI NELLA DEFINIZIONE DELLE "MACROREGIONI CLIMATICHE OMOGENEE"
 (HTTP://WWW.MINAMBIENTE.IT/SITES/DEFAULT/FILES/ARCHIVIO_IMMAGINI/ADATTAMENTI_CLIMATICI/ALLEGATO_1_ANALISI_CON
 DIZIONE_CLIMATICA_ATTUALE_E_FUTURA.PDF)

Indicatore	Abbreviazione	Descrizione	Unità di misura
Temperatura media annuale	Tmean	Media annuale della temperatura media giornaliera	(°C)
Giorni di precipitazione intense	R20	Media annuale del numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm	(giorni anno ⁻¹)
Frost days	FD	Media annuale del numero di giorni con temperatura minima al di sotto dei 0°C	(giorni anno ⁻¹)
Summer days	SU95p	Media annuale del numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29.2 °C (valore medio del 95° percentile della distribuzione delle temperature massime osservate tramite E-OBS)	(giorni anno ⁻¹)
Cumulata delle precipitazioni invernali	WP	Cumulata delle precipitazioni nei mesi invernali (Dicembre, Gennaio, Febbraio)	(mm)
Cumulata delle precipitazioni estive	SP	Cumulata delle precipitazioni nei mesi estivi (Giugno, Luglio, Agosto)	(mm)
Copertura nevosa	SC	Media annuale del numero di giorni per cui l'ammontare di neve superficiale è maggiore di un 1 cm	(giorni anno ⁻¹)
Evaporazione	Evap	Evaporazione cumulata annuale	(mm anno ⁻¹)
Consecutive dry days	CDD	Media annuale del massimo numero di giorni consecutivi con pioggia inferiore a 1 mm/giorno	(giorni anno ⁻¹)
95° percentile della precipitazione	R95p	95° percentile della precipitazione	(mm)

Le sei "macroregioni climatiche omogenee" (Figura 2.1) sono di seguito denominate:

- Macroregione 1 - Prealpi e Appennino Settentrionale
- Macroregione 2 - Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale
- Macroregione 3 - Appennino centro-meridionale
- Macroregione 4 - Area alpina
- Macroregione 5 - Italia settentrionale
- Macroregione 6 - Aree insulari e l'estremo sud dell'Italia

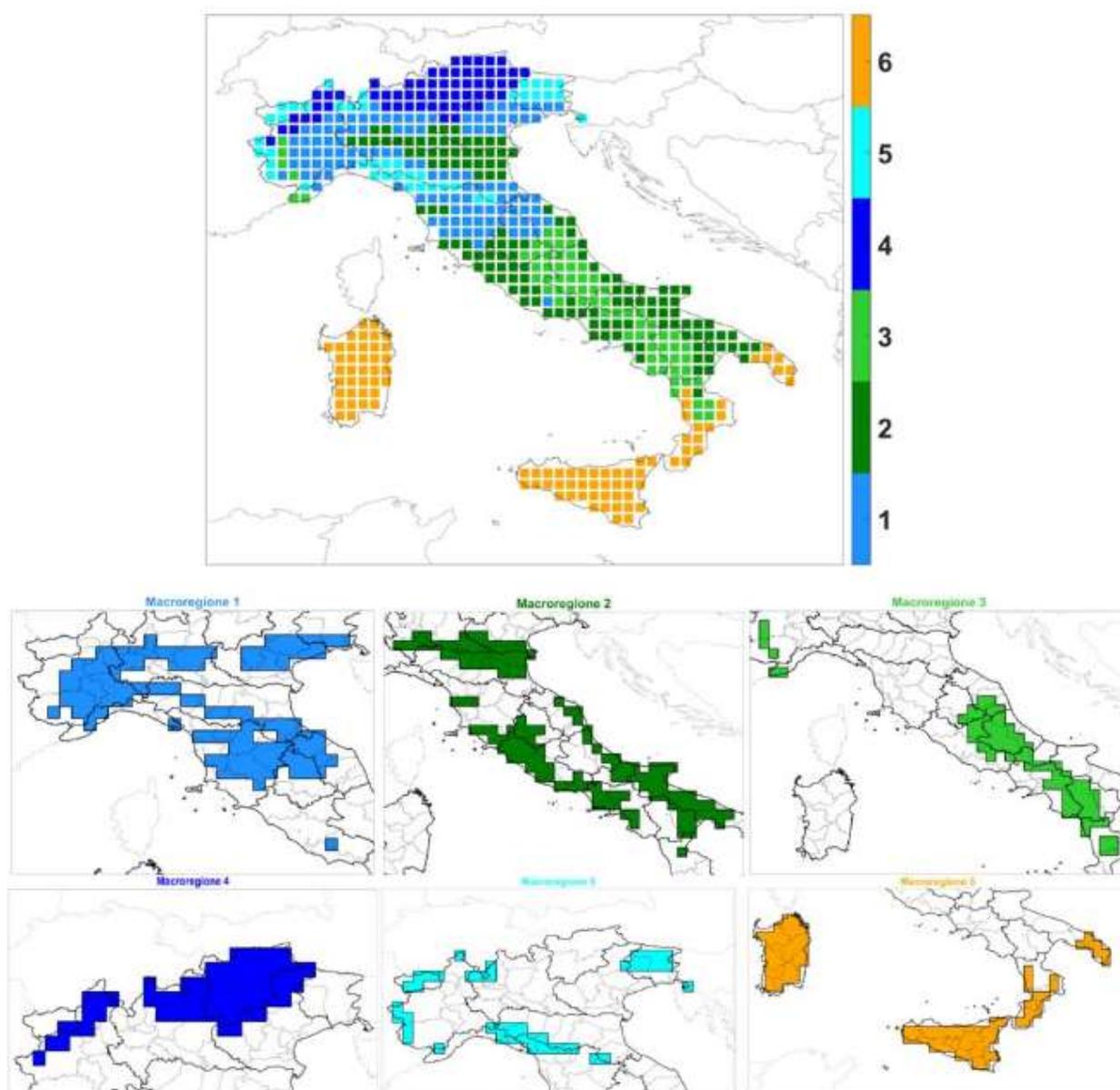


FIGURA 2.1 UBICAZIONE DELLE "MACROREGIONI CLIMATICHE OMOGENEE
 (HTTP://WWW.MINAMBIENTE.IT/SITES/DEFAULT/FILES/ARCHIVIO_IMMAGINI/ADATTAMENTI_CLIMATICI/ALLEGATO_1_ANALISI_CON
 DIZIONE_CLIMATICA_ATTUALE_E_FUTURA.PDF)

La Tabella 2-2 riporta i valori medi di otto indicatori climatici per le sei "macroregioni climatiche omogenee".

TABELLA 2-2 VALORI MEDI DEGLI INDICATORI CLIMATICI DELLE SEI "MACROREGIONI CLIMATICHE OMOGENEE". LE MEDIE SONO STATE CALCOLATE NEL PERIODO COMPRESO FRA IL 1981 E IL 2010.

Macroregione	T _{mean} (°C)	R20 (giorni/anno)	FD (giorni/anno)	SU95p (giorni/anno)	WP (mm)	SP (mm)	R95p (mm)	CDD (giorni/anno)
1	13	10	51	34	187	168	28	33
2	14,6	4	25	50	148	85	20	40
3	12,2	4	35	15	182	76	19	38
4	5,7	10	152	1	143	286	25	32
5	8,3	21	112	8	321	279	40	28
6	16	3	2	35	179	21	19	70

Il comune della Spezia ricade nella Macroregione 1 - Prealpi e Appennino Settentrionale, caratterizzata da valori intermedi per quanto riguarda i valori cumulati delle precipitazioni invernali ed estive e da valori elevati, rispetto

alle altre aree, per i fenomeni di precipitazione estremi (R20 e R95p). Dopo la Macroregione 2 risulta essere la zona del Nord Italia con il numero maggiore di summer days (SU95p) ovvero con il numero di giorni in cui la temperatura massima ha un valore superiore al valore di soglia considerato (95esimo percentile). La Macroregione 1 entro la quale ricade il territorio del comune della Spezia è caratterizzato da:

- una temperatura media annua (**T mean**) di 13°C,
- un valore medio di giorni di precipitazione superiori ai 20 mm (**R20**) pari a 10 giorni/anno,
- un valore medio di numero di giorni con temperatura minima al di sotto dei 0°C (**FD**) pari a 51 giorni/anno,
- un valore medio del numero di giorni con temperatura massima maggiore di 29.2 °C (valore medio del 95° percentile della distribuzione delle temperature massime osservate tramite E-OBS) (**SU95p**) pari a 34 giorni/anno,
- un valore medio di cumulata delle precipitazioni invernali (**WP**) pari a 187 mm,
- un valore medio di cumulata delle precipitazioni estive (**SP**) pari a 168 mm,
- un valore medio del 95° percentile della precipitazione (**R95p**) pari a 28 mm
- e da un valore medio del massimo numero di giorni consecutivi annui con pioggia inferiore a 1 m/giorno (**CDD**) pari a 33giorni/anno.

Si evidenzia inoltre che la Macroregione 1 mappata in corrispondenza del territorio comunale, è circondata da zone caratterizzate come Macroregione 5 - Italia settentrionale. Tale macroregione è caratterizzata da valori più elevati di precipitazione sia in termini di valori medi invernali (321 mm) che di estremi (R20 e R95p); anche le precipitazioni estive risultano mediamente alte, seconde solo alla zona alpina (macroregione 4). Per quanto riguarda i giorni massimi consecutivi (CDD) asciutti in questa macroregione si trova il valore più basso. Per quanto riguarda i summer days, il valore che caratterizza tale area è mediamente basso (secondo solo alla zona alpina dove si registra il valore minimo di tale indicatore). Nel territorio comunale, è quindi lecito attendersi una maggiore variabilità dei valori degli indicatori sopra descritti per la Macroregione 1.

2.2 Anomalie climatiche attese

Il PNACC ha individuato aree del territorio italiano omogenee in termini di anomalie climatiche utilizzando le proiezioni climatiche realizzate con il modello RCM COSMO CLM (Rockel and Geyer, 2008a). Le proiezioni climatiche future sono state ottenute considerando due diversi scenari IPCC: RCP4.5 e RCP8.5. È possibile una valutazione dell'incertezza delle proiezioni climatiche rispetto ai due scenari considerati.

Gli indicatori selezionati per l'analisi della condizione climatica futura sono stati calcolati con i dati simulati dal modello climatico regionale RCM COSMO CLM per il periodo di riferimento (1981-2010) e per il periodo intermedio 2021-2050 con gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. In questo caso, rispetto all'analisi del clima attuale, è stato considerato l'indicatore Evap al posto dell'indicatore CDD ed è stato aggiunto l'indicatore relativo alla copertura nevosa, SC. Le anomalie climatiche sono ottenute come differenza tra i valori medi degli indicatori nel periodo futuro 2021-2050 e quello di riferimento 1981-2010. Le anomalie climatiche sono espresse in parte in valori assoluti (temperatura media annuale, giorni di precipitazione intensa, frost days, summer days, copertura nevosa) e in parte in valori relativi (cumulata delle precipitazioni invernali,

cumulata delle precipitazioni estive, evaporazione cumulata annuale, 95°percentile della precipitazione).

Al fine di individuare aree climatiche omogenee nazionali per anomalie, i valori di nove indicatori climatici sono stati raggruppati in categorie omogenee denominate "cluster di anomalie". La zonazione climatica delle anomalie ha individuato cinque cluster di anomalie (da A a E) mostrate in Figura 2.2 per lo scenario RCP4.5 e in Figura 2.3 per lo scenario RCP8.5. I valori medi degli indicatori climatici all'interno dei 5 cluster di anomalie sono indicati nella Tabella 2-3 e nella Tabella 2-4 relativamente agli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

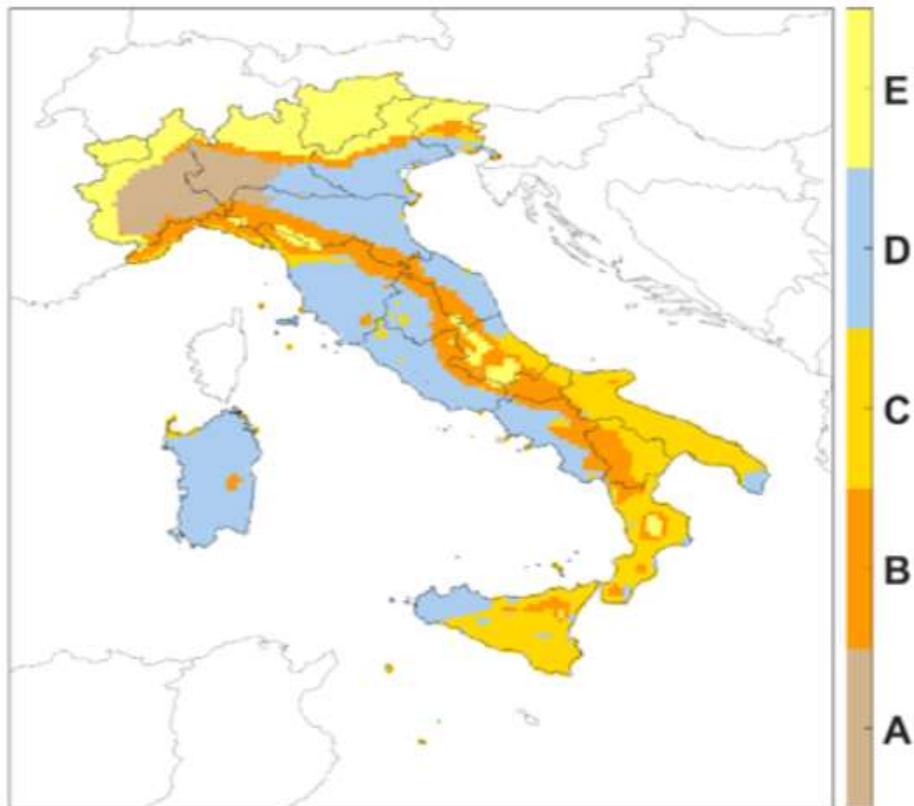


FIGURA 2.2 ZONAZIONE CLIMATICA DELLE ANOMALIE PER LO SCENARIO RCP4.5

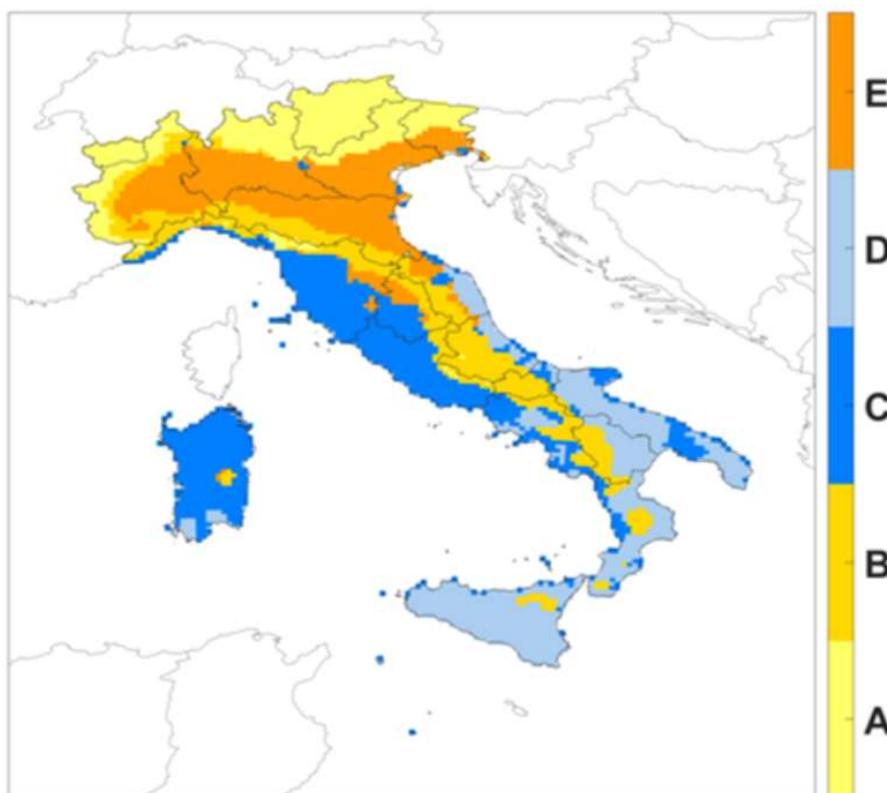


FIGURA 2.3 ZONAZIONE CLIMATICA DELLE ANOMALIE PER LO SCENARIO RCP8.5

TABELLA 2-3 VALORI MEDI DEI CLUSTER DI ANOMALIA INDIVIDUATI PER LO SCENARIO RCP4.5

Cluster	T _{mean} (°C)	R20 (giorni/anno)	FD (giorni/anno)	SU95p (giorni/anno)	WP (%)	SP (%)	SC (giorni/anno)	Eva p (%)	R95 p (mm)
A	1,4	-1	-20	18	-4	-27	-12	-6	1
B	1,3	-1	-19	9	-2	24	-8	-3	3
C	1,2	0	-6	12	-5	18	-1	-3	4
D	1,2	1	-9	14	8	25	-1	-2	11
E	1,2	-2	-20	1	-8	15	-21	1	-1

TABELLA 2-4 VALORI MEDI DEI CLUSTER DI ANOMALIA INDIVIDUATI PER LO SCENARIO RCP8.5

Cluster	T _{mean} (°C)	R20 (giorni/anno)	FD (giorni/anno)	SU95p (giorni/anno)	WP (%)	SP (%)	SC (giorni/anno)	Eva p (%)	R95 p (mm)
A	1,5	1	-23	1	13	-11	-20	2	5
B	1,6	0	-28	8	2	-7	-18	1	6
C	1,5	1	-14	12	7	3	-1	2	13
D	1,5	0	-10	14	-4	14	-1	-8	6
E	1,5	1	-27	14	16	14	-9	2	9

L'area del Comune della Spezia ricade nel cluster di anomalia climatica C per entrambi gli scenari.

Nello scenario RCP4.5 tale cluster viene definito come Cluster C (secco): in questo cluster si osserva una riduzione delle precipitazioni invernali, a cui si aggiunge anche la riduzione, sebbene di minor entità, di quelle estive. Inoltre, si ha un aumento moderato dei *summer days* (di 12 giorni/anno).

Nello scenario RCP8.5 tale cluster viene definito come Cluster C (piovoso-caldo estivo): il cluster è interessato da un aumento sia delle precipitazioni invernali che di quelle estive e da un aumento significativo dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al 13%). Infine, si osserva un aumento rilevante dei *summer days* (di 12 giorni/anno).

2.3 Aree climatiche omogenee

Dall'intersezione delle 6 macroregioni climatiche omogenee identificate con l'analisi del clima attuale (Figura 2.1) e i 5 cluster di anomalie (Figura 2.2 e Figura 2.3) scaturiscono 13 principali "aree climatiche omogenee" per i due scenari (RCP4.5 e RCP8.5), ossia le aree del territorio nazionale con uguale condizione climatica attuale e stessa proiezione climatica di anomalia futura (http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf).

In sintesi, l'area del comune della Spezia ricade nella Macroregione 1, cluster di anomalia C per entrambi gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 con valori degli indicatori climatici osservati e attesi sopra indicati.

3 VARIABILITÀ CLIMATICA

Crescenti evidenze nell'ambito della letteratura scientifica, tecnica e socio-economica, riassunti efficacemente nel 5° Rapporto di Valutazione (Ar5) elaborato dall'IPCC Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (Field et al., 2014) testimoniano gli impatti dei cambiamenti climatici nel passato su sistemi naturali ed antropici ed identificano i possibili rischi futuri in base agli scenari di cambiamento climatico attesi. Tale rapporto dimostra che gli ultimi anni sono stati tra i più caldi mai registrati da quando esistono serie di misurazioni di temperatura (dal 1880 circa), con emissioni di CO₂, metano e ossidi di azoto tra i più alti mai registrati negli ultimi 800mila anni. Dal rapporto emerge chiaramente come la conoscenza e la caratterizzazione della variabilità climatica nel passato è fondamentale sia per la l'identificazione dei cambiamenti climatici in atto, che per la corretta identificazione degli scenari di cambiamento nel futuro. I dati, le metodologie analitiche e gli approcci modellistici utilizzati ed utilizzabili a tale scopo sono estremamente eterogenei, rendendo difficile l'identificazione di uno standard analitico/modellistico. In tal senso anche le scale spaziali e temporali di rappresentazione del dato e di analisi possono essere molto differenti, determinando fortemente i livelli di certezza associati alle evidenze scientifiche, tecniche e socio-economiche osservate e modellate. Mentre alcune scale spaziali e temporali possono essere adeguate all'analisi della variabilità climatica passata, possono non esserlo per analisi similari nel futuro. Per i motivi sopra menzionati, nel resto del documento si è scelto di utilizzare dati e risultati modellistici ottenuti utilizzando metodologie e scale differenti per l'analisi di variabilità climatica osservata (§3.1) e di quella attesa (§3.2).

3.1 Analisi dati osservati

Per l'analisi dei dati osservati sono stati utilizzati dati, osservazioni e dati modellistici riportati nell'Atlante Climatico della Liguria (Agrillo and Bonati, 2013) realizzato da ARPAL (Centro Funzionale Meteorologico Di Protezione Civile della Regione Liguria) nell'ambito del progetto europeo Res-Mar "Reseau pour l'environnement dans l'espace Maritime" finanziato dal Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia "Marittimo" 2007- 2013. L'atlante ha selezionato, completato e aggiornato le serie storiche ufficiali di precipitazione e temperatura rappresentative della climatologia ligure. In aggiunta nell'atlante sono riportate indicazioni sull'andamento climatico, sia a livello areale per l'intero territorio ligure che a scala di singolo sito. Tali elaborazioni hanno permesso di costruire un quadro conoscitivo aggiornato della climatologia delle precipitazioni e delle temperature nel territorio comunale e regionale, basato su dati ufficiali e analisi rigorose. L'attuale Osservatorio Meteorologico della Regione Liguria (OMIRL) sotto la gestione di ARPAL ha sostituito il Servizio Idrografico Nazionale e negli ultimi 10 anni ha messo in atto un vasto programma di aggiornamento tecnologico della rete in telemisura che conta attualmente circa 200 stazioni coprendo il territorio ligure con una densità di una stazione ogni 25 kmq circa. Le elaborazioni dell'atlante di seguito riportate sono di tipo "climatologico" e analizzano le condizioni meteorologiche medie in periodi di tempo lunghi almeno un trentennio. Per tale motivo nelle analisi sono state considerate una selezione ristretta di siti storici con serie di dati sufficientemente lunghe, omogenee ed affidabili da consentire l'analisi climatologica sia di sito singolo che areale. La creazione di tale banca dati ha richiesto un ampio e approfondito lavoro di acquisizione da varie fonti (cartacee e digitali), catalogazione, e validazione del dato insieme alla selezione delle serie, alla loro omogeneizzazione successiva analisi ed elaborazione statistica. Il set di dati (Tabella 3-1) utilizzato comprende 94 siti storici per la precipitazione e 34 siti storici (Figura 3.1) per la temperatura la cui copertura temporale varia da sito a sito ma include in generale il periodo 1961-2010.

TABELLA 3-1 ANAGRAFICA DELLE STAZIONE ARPAL UTILIZZATE PER LE ANALISI CLIMATICHE

NOME STAZIONE	COMUNE	PROV	REGIONE	LAT (WGS84)	LON (WGS84)	QUOTA (m)	BACINO	STAZIONI USATE SOLO PER REDAZIONE MAPPE	GRAFICI PLUVIO	GRAFICI TERMO
Airole	Airole	IM	LIGURIA	43,87309	7,54434	103	Roia		SI	SI
Alassio	Alassio	SV	LIGURIA	44,00624	8,16930	10	fra Impero e Centa		SI	SI
Albenga	Albenga	SV	LIGURIA	44,04899	8,21262	5	Centa		SI	SI
Alto	Alto	CN	PIEMONTE	44,10795	8,00301	630	Centa	X	NO	NO
Arenzano	Arenzano	GE	LIGURIA	44,40416	8,67859	75	fra Sansobbia e Polcevera	X	NO	NO
Balestrino	Balestrino	SV	LIGURIA	44,12362	8,16945	370	fra Centa e Quiliano	X	NO	NO
Bestagno	Pontedassio	IM	LIGURIA	43,93410	8,00035	300	Impero		SI	NO
Bola di Tresana	Tresana	MS	TOSCANA	44,23423	9,89667	400	Magra	X	NO	NO
Brugno Diga	Torriglia	GE	LIGURIA	44,53634	9,20492	812	Trebbia		SI	SI
Busalla	Busalla	GE	LIGURIA	44,56970	8,94892	362	Scrvia		SI	SI
Cabanne	Rezzoaglio	GE	LIGURIA	44,48333	9,35222	812	Aveto		SI	NO
Cairo Montenotte	Cairo Montenotte	SV	LIGURIA	44,38331	8,27494	342	Bormida di Spigno		SI	SI
Calice al Cornoviglio	Calice al Cornoviglio	SP	LIGURIA	44,24392	9,83881	430	Magra		SI	SI
Calice Ligure	Calice Ligure	SV	LIGURIA	44,20310	8,29344	60	fra Centa e Quiliano		SI	NO
Castelvecchio Rocca Barbena	Castelvecchio Rocca Barbena	SV	LIGURIA	44,12951	8,11853	435	Centa		SI	NO
Chiavari	Chiavari	GE	LIGURIA	44,31528	9,32333	5	fra Bisagno ed Entella	X	NO	NO
Chiusola	Sesta Godano	SP	LIGURIA	44,33708	9,70385	630	Magra		SI	NO
Cichero	San Colombano Certenoli	GE	LIGURIA	44,41704	9,32118	480	Entella	X	NO	NO
Colle Belenda	Pigna	IM	LIGURIA	43,98152	7,69983	1357	Nervia		SI	NO
Colle di Nava	Pornassio	IM	LIGURIA	44,08325	7,87331	930	Centa		SI	NO
Colle Melosa	Pigna	IM	LIGURIA	43,98950	7,68451	1600	Nervia	X	NO	NO
Colonia Arnaldi	Uscio	GE	LIGURIA	44,40840	9,18148	560	fra Bisagno ed Entella	X	NO	NO
Crocefieschi	Crocefieschi	GE	LIGURIA	44,58405	9,02269	742	Scrvia		SI	NO
Crocetta di Orero	Serra Riccò	GE	LIGURIA	44,52014	8,98586	470	Polcevera		SI	NO
Diga Val Noci	Montoggio	GE	LIGURIA	44,49291	9,03475	544	Scrvia		SI	SI
Dolcedo	Dolcedo	IM	LIGURIA	43,90674	7,95115	77	fra Argentina e Impero		SI	NO
Ellera Ligure	Albisola Superiore	SV	LIGURIA	44,36218	8,46848	78	Sansobbia		SI	NO
Feglino	Orco Feglino	SV	LIGURIA	44,22040	8,32505	160	fra Centa e Quiliano		SI	NO
Fiorino	Genova	GE	LIGURIA	44,46494	8,70493	290	fra Sansobbia e Polcevera		SI	NO
Genova - Ponte Carrega	Genova	GE	LIGURIA	44,43853	8,96270	30	Bisagno		SI	NO
Genova - Prato	Genova	GE	LIGURIA	44,44908	9,01292	89	Bisagno	X	NO	NO
Genova - Università	Genova	GE	LIGURIA	44,41561	8,92708	21	Bisagno		SI	SI
Giacopiane	Borzonasca	GE	LIGURIA	44,46268	9,39525	1009	Entella		SI	NO
Guinadi Presa Verde	Pontremoli	MS	TOSCANA	44,41206	9,84836	371	Magra	X	NO	NO
Iera	Bagnone	MS	TOSCANA	44,33267	10,03362	494	Magra	X	NO	NO
Imperia	Imperia	IM	LIGURIA	43,87957	8,01652	60	fra Argentina e Impero		SI	SI
Isola del Cantone	Isola del Cantone	GE	LIGURIA	44,64500	8,95860	300	Scrvia	X	NO	NO
Isolabella	Albenga	SV	LIGURIA	44,06866	8,17985	40	Centa		SI	NO
Isoverde	Campomorone	GE	LIGURIA	44,53013	8,85822	270	Polcevera		SI	SI
La Foce	La Spezia	SP	LIGURIA	44,12485	9,78808	245	Magra		SI	NO
La Spezia	La Spezia	SP	LIGURIA	44,10703	9,82819	35	fra Entella e Magra		SI	SI
Laccio	Torriglia	GE	LIGURIA	44,49529	9,13061	641	Scrvia	X	NO	NO
Lavezze	Campomorone	GE	LIGURIA	44,54953	8,82328	652	Stura		SI	SI
Le Manie	Finale Ligure	SV	LIGURIA	44,19866	8,37656	297	fra Centa e Quiliano		SI	NO
Levanto	Levanto	SP	LIGURIA	44,17346	9,61578	6	fra Entella e Magra		SI	NO
Loco Carchelli	Rovegno	GE	LIGURIA	44,55604	9,28601	600	Trebbia		SI	NO
Madonna delle Grazie*	Genova	GE	LIGURIA	44,43429	8,74155	145	fra Sansobbia e Polcevera	X	NO	NO
Mele	Mele	GE	LIGURIA	44,47419	8,73312	270	fra Sansobbia e Polcevera		SI	NO
Merelli	Taggia	IM	LIGURIA	43,88137	7,84759	70	Argentina	X	NO	NO
Mignanego	Mignanego	GE	LIGURIA	44,53978	8,93975	270	Polcevera		SI	SI
Millesimo	Millesimo	SV	LIGURIA	44,35964	8,20845	402	Bormida di Millesimo		SI	NO
Montale di Levanto	Levanto	SP	LIGURIA	44,18830	9,62740	160	fra Entella e Magra		SI	NO
Monte Cappellino	Savignone	GE	LIGURIA	44,55062	8,95687	655	Polcevera		SI	SI
Novegino	Podenzana	MS	TOSCANA	44,20308	9,94767	55	Magra	X	NO	NO
Ortiglieto	Molare	AL	PIEMONTE	44,56993	8,60431	311	Tanaro	X	NO	NO
Osiglia Diga	Osiglia	SV	LIGURIA	44,31071	8,19721	640	Bormida di Millesimo		SI	NO
Panesi	Cogorno	GE	LIGURIA	44,34209	9,35624	25	Entella		SI	NO
Parazuolo	Rezzoaglio	GE	LIGURIA	44,47679	9,32516	819	Aveto		SI	NO
Piaggia	Briga Alta	CN	PIEMONTE	44,08328	7,75042	1310	Tanaro		SI	NO
Piampaludo	Sassello	SV	LIGURIA	44,46181	8,58278	876	Orba	X	NO	NO
Piana di Soglio	Orero	GE	LIGURIA	44,39573	9,25968	75	Entella		SI	NO
Pigna	Pigna	IM	LIGURIA	43,93297	7,66162	270	Nervia		SI	NO
Pogli d'Ortovero	Ortovero	SV	LIGURIA	44,05394	8,05562	93	Centa		SI	NO
Pontremoli	Pontremoli	MS	TOSCANA	44,37014	9,88597	215	Magra	X	NO	NO
Portovenere	Portovenere	SP	LIGURIA	44,05215	9,83414	201	fra Entella e Magra	X	NO	NO
Presa Gordana	Pontremoli	MS	TOSCANA	44,34969	9,79980	368	Magra	X	NO	NO
Propata	Propata	GE	LIGURIA	44,55318	9,19228	996	Trebbia		SI	NO
Riccò del Golfo**	Riccò del Golfo	SP	LIGURIA	44,15261	9,76264	143	Magra	X	NO	NO

NOME STAZIONE	COMUNE	PROV	REGIONE	LAT (WGS84)	LON (WGS84)	QUOTA (m)	BACINO	STAZIONI USATE SOLO PER REDAZIONE MAPPE	GRAFICI PLUVIO	GRAFICI TERMO
Rocca Sigillina	Filattiera	MS	TOSCANA	44,36652	9,95572	480	Magra	X	NO	NO
Rocchetta Nervina	Rocchetta Nervina	IM	LIGURIA	43,88859	7,60177	215	Nervia		SI	NO
Rocchetta	Mulazzo	MS	TOSCANA	44,32652	9,84724	426	Magra	X	NO	NO
Rondanina	Rondanina	GE	LIGURIA	44,55000	9,20222	1020	Trebbia	X	NO	NO
Rovegno	Rovegno	GE	LIGURIA	44,57594	9,28250	660	Trebbia	X	NO	NO
S. Margherita Vara	Carro	GE	LIGURIA	44,27470	9,65964	180	Magra		SI	SI
S. Martino del Monte	S.Colombano Certenoli	GE	LIGURIA	44,36555	9,34780	309	Entella		SI	NO
S. Michele	Borzonasca	GE	LIGURIA	44,42362	9,39401	170	Entella		SI	NO
S. Stefano d'Aveto	S. Stefano d'Aveto	GE	LIGURIA	44,54724	9,45159	1017	Aveto		SI	SI
Sanguinetto	Montoggio	GE	LIGURIA	44,48333	9,03556	678	Scrvia	X	NO	NO
Sanremo	Sanremo	IM	LIGURIA	43,81484	7,77634	9	fra Nervia e Argentina		SI	SI
Sarzana	Sarzana	SP	LIGURIA	44,11378	9,96400	26	Magra		SI	NO
Savona	Savona	SV	LIGURIA	44,30620	8,48305	38	Letimbro		SI	SI
Scoffera	Davagna	GE	LIGURIA	44,47901	9,11850	651	Bisagno	X	NO	NO
Sella di Savona	Altare	SV	LIGURIA	44,34548	8,34743	467	Letimbro		SI	NO
Serò di Zignago	Zignago	SP	LIGURIA	44,26434	9,73698	580	Magra		SI	NO
Statale	Ne'	GE	LIGURIA	44,34761	9,48235	570	Entella		SI	SI
Tavarone	Maissana	SP	LIGURIA	44,31274	9,54859	603	Magra		SI	SI
Tendola	Fosdinovo	MS	TOSCANA	44,16089	10,03783	361	Magra	X	NO	NO
Tigliolo	Borzonasca	GE	LIGURIA	44,44327	9,36156	293	Entella		SI	NO
Turano	Fivizzano	MS	TOSCANA	44,24682	10,15149	836	Magra	X	NO	NO
Valle Murialdo	Murialdo	SV	LIGURIA	44,30681	8,12143	565	Bormida di Millesimo		SI	NO
Valle Tane	Triora	IM	LIGURIA	43,98987	7,67756	1405	Nervia		SI	NO
Varese Ligure	Varese Ligure	SP	LIGURIA	44,38425	9,58135	386	Magra		SI	NO
Ventimiglia	Ventimiglia	IM	LIGURIA	43,78777	7,61211	9	Roia		SI	NO
Verzi Loano	Loano	SV	LIGURIA	44,15611	8,23647	170	fra Centa e Quiliano		SI	SI
Viganego	Bargagli	GE	LIGURIA	44,42855	9,06338	430	Bisagno		SI	NO

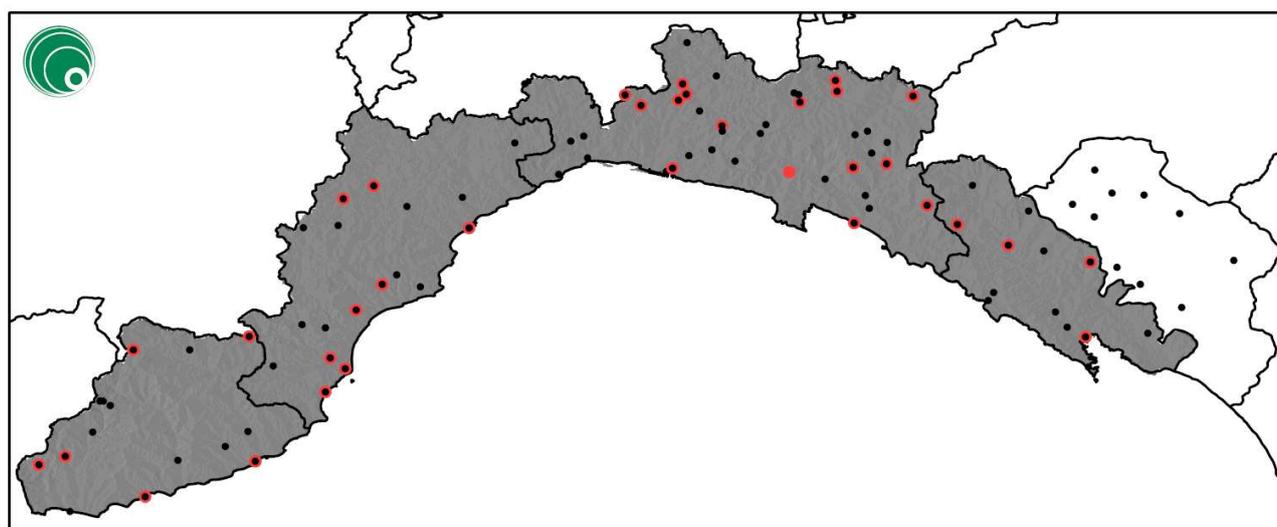


FIGURA 3.1 LOCALIZZAZIONE DEI 94 SITI STORICI PER LA PRECIPITAZIONE (IN NERO) E 34 PER LA TEMPERATURA (IN ROSSO) UTILIZZATI DA ARPAL AI FINI DELLE ELABORAZIONI CLIMATOLOGICHE RIPORTATE NELL'ATLANTE CLIMATICO DELLA LIGURIA.

Come riportato nell'atlante le stazioni di cui sopra sono state selezionate considerando la consistenza (i.e. la popolazione) delle loro serie storiche e i risultati del test di omogeneità SNHT (Standard Normal Homogeneity Test, (Alexandersson, 1986; Alexandersson and Moberg, 1997; Tuomenvirta, 2002)). Con consistenza di una serie si intende la sua popolazione. In particolare, sono state considerate le stazioni aventi almeno l'80% dei dati a livello annuale e stagionale. Ulteriori dettagli possono essere trovati nell'atlante (Agrillo and Bonati, 2013).

Una sintesi degli estremi assoluti di precipitazione e temperatura misurati nelle stazioni in Liguria è riportata in Tabella 3-2.

TABELLA 3-2 ESTREMI ASSOLUTI DI PRECIPITAZIONE E TEMPERATURA MISURATI NELLE STAZIONI RIPORTATE IN TABELLA 3-1 NEL PERIODO 1961-2010

PARAMETRO	Tmin assoluta	Tmin più elevata	Tmax assoluta	Tmax più rigida	Prec max cumulata in 1h	Prec max cumulata in 3h	Prec max cumulata in 6h	Prec max cumulata in 12h	Prec max cumulata in 24h	Prec max cumulata dalle 9 alle 9
Valore	-19.0°C	29.8°C	40.1°C	-11.0°C	122.4 mm	271.0 mm	439.0 mm	480.0 mm	732.0 mm	539.2 mm
Stazione/i	Loco Carchelli	Savona	Calice Ligure	Lavezze e Brugnato Diga	Fiorino	Sella di Savona	Tigliolo	Monte Cappellino	Monte Cappellino	Tigliolo

Nel seguito la sezione §3.1.1 riporta le elaborazioni dell’atlante scala regionale (mappe di precipitazione e temperatura), mentre la sezione §3.1.2 riporta quelle a scala locale (serie ed elaborazioni di dati di precipitazione e temperatura) realizzate per le stazioni climatiche localizzate all’interno del territorio del Comune della Spezia o in prossimità di esso.

3.1.1 Elaborazioni a scala regionale (Regione Liguria)

Le elaborazioni a livello regionale sono mappe interpolate realizzate a partire dai dati delle stazioni elencate in Tabella 1.1 la cui localizzazione è mostrata in Figura 1.1. Sono state elaborate mappe per diverse variabili climatiche di precipitazione e temperatura. Come specificato nell’atlante, le mappe sono state interpolate con la tecnica dell’inverso della distanza. Nell’interpolazione sono state considerate stazioni nel territorio di Massa Carrara, area che successivamente è stata rimossa dalla mappa finale. Nel caso della mappa di precipitazione è stato utilizzato un numero di stazioni variabile tra 47 e 85 a seconda della consistenza delle serie sui periodi di volta in volta considerati. Le mappe di temperature, sempre a seconda della consistenza delle serie sui periodi di volta in volta considerati, sono state preparate usando un numero di stazioni variabile tra 13 e 27. Il numero di stazioni a disposizione per la temperatura non ha garantito una copertura spaziale del territorio regionale sufficiente ad effettuare l’interpolazione, pertanto tali mappe sono presentate a livello puntuale.

Relativamente alle precipitazioni sono state calcolate le seguenti variabili, mostrate dalla Figura 3.2 alla Figura 3.13:

- Precipitazione cumulata annuale e stagionale;
- Numero di giorni piovosi annuale e stagionale (giorni con cumulata pari o superiore a 1 mm/giorno);
- Precipitazione massima giornaliera (Tempi di ritorno $T = 10$ anni) calcolata utilizzando una distribuzione GEV (General Extreme Value);
- Precipitazione massima giornaliera (Tempi di ritorno $T = 50$ anni) calcolata utilizzando una distribuzione GEV (General Extreme Value);
- Intensità di precipitazione giornaliera nel giorno piovoso annuale e stagionale;
- Numero giorni piovosi consecutivi nelle diverse stagioni;
- Numero giorni secchi consecutivi nelle diverse stagioni.

Relativamente alle temperature sono state calcolate le seguenti variabili, mostrate dalla Figura 3.14 alla Figura 3.20:

- Temperatura minima annuale e stagionale;
- Temperatura massima annuale e stagionale;
- Escursione termica media a livello annuale ottenuta dalla differenza tra i valori delle temperature minime e massime;
- Frost days annuale (giorni con temperatura minima inferiore a 0°C);
- Temperature minime 10° percentile nel periodo invernale;
- Temperature massime 90° percentile nel periodo estivo.

Per ogni variabile sono riportate due mappe: (i) la prima riassume i valori della variabile calcolati nel periodo 1961-2010; (ii) la seconda mostra la sua

variazione negli ultimi trent'anni del periodo (dal 1981 al 2010) rispetto al trentennio climatico di riferimento (dal 1961 al 1990). I periodi considerati nelle analisi stagionali sono stati definiti secondo la convenzione meteorologica: (i) per la primavera il periodo dal 1 marzo al 31 maggio, (ii) per l'estate il periodo dal 1 giugno al 31 agosto, (iii) per l'autunno il periodo dal 1 settembre al 30 novembre, (iv) per l'inverno il periodo dal 1° dicembre dell'anno solare precedente al 28 o 29 febbraio di quello successivo.

Le mappe predisposte a scala regionale sono state raggruppate e riportate di seguito separatamente per le precipitazioni e le temperature.

*Mappe di precipitazione a scala
regionale*

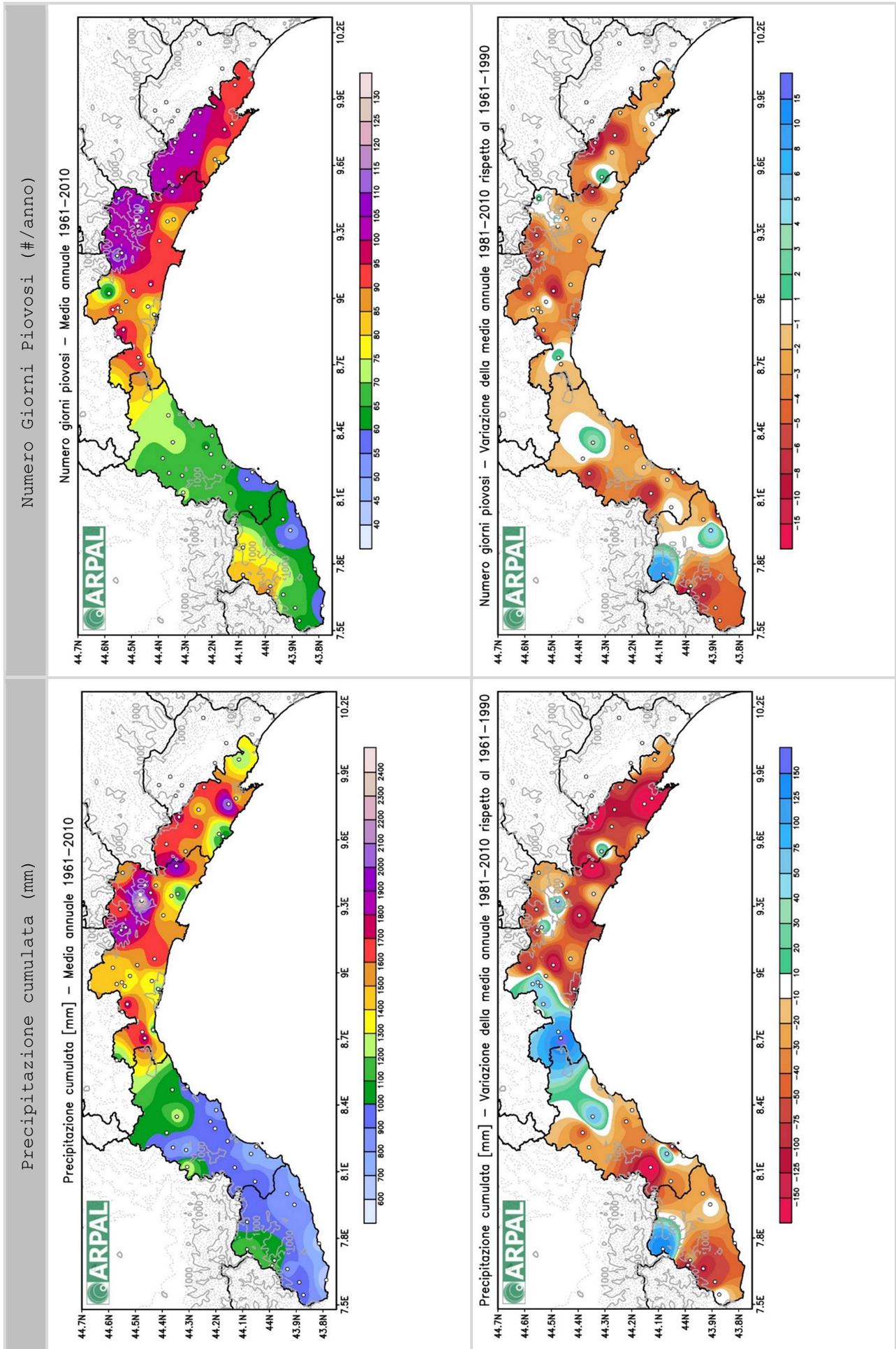


FIGURA 3.2 MAPPE DI PRECIPITAZIONE CUMULATA E DEL NUMERO DI GIORNI PIOVOSI - MEDIE ANNUALI

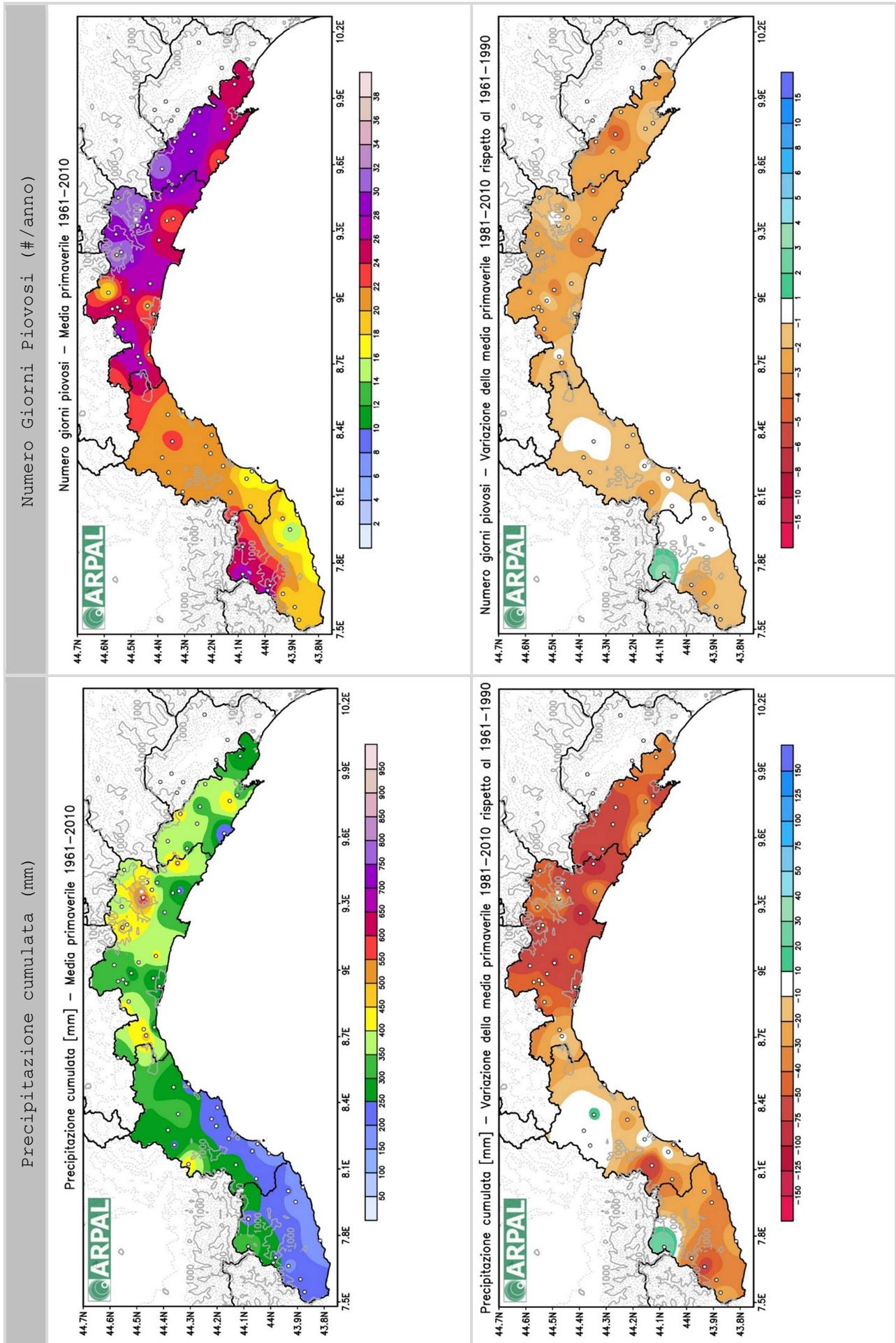


FIGURA 3.3 MAPPE DI PRECIPITAZIONE CUMULATA E DEL NUMERO DI GIORNI PIOVOSI – MEDIE PRIMAVERILI

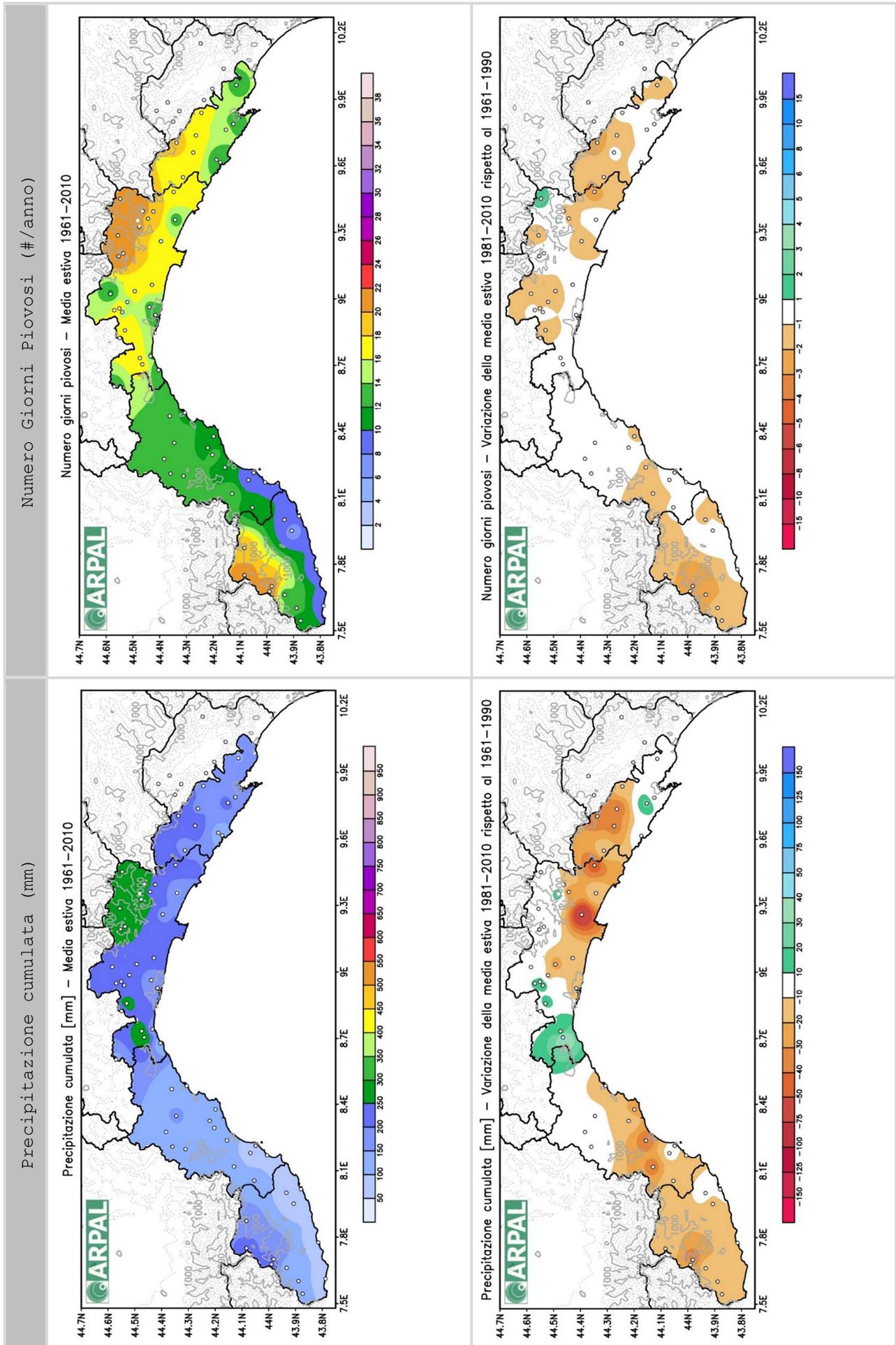


FIGURA 3.4 MAPPE DI PRECIPITAZIONE CUMULATA E DEL NUMERO DI GIORNI PIOVOSI - MEDIE ESTIVE

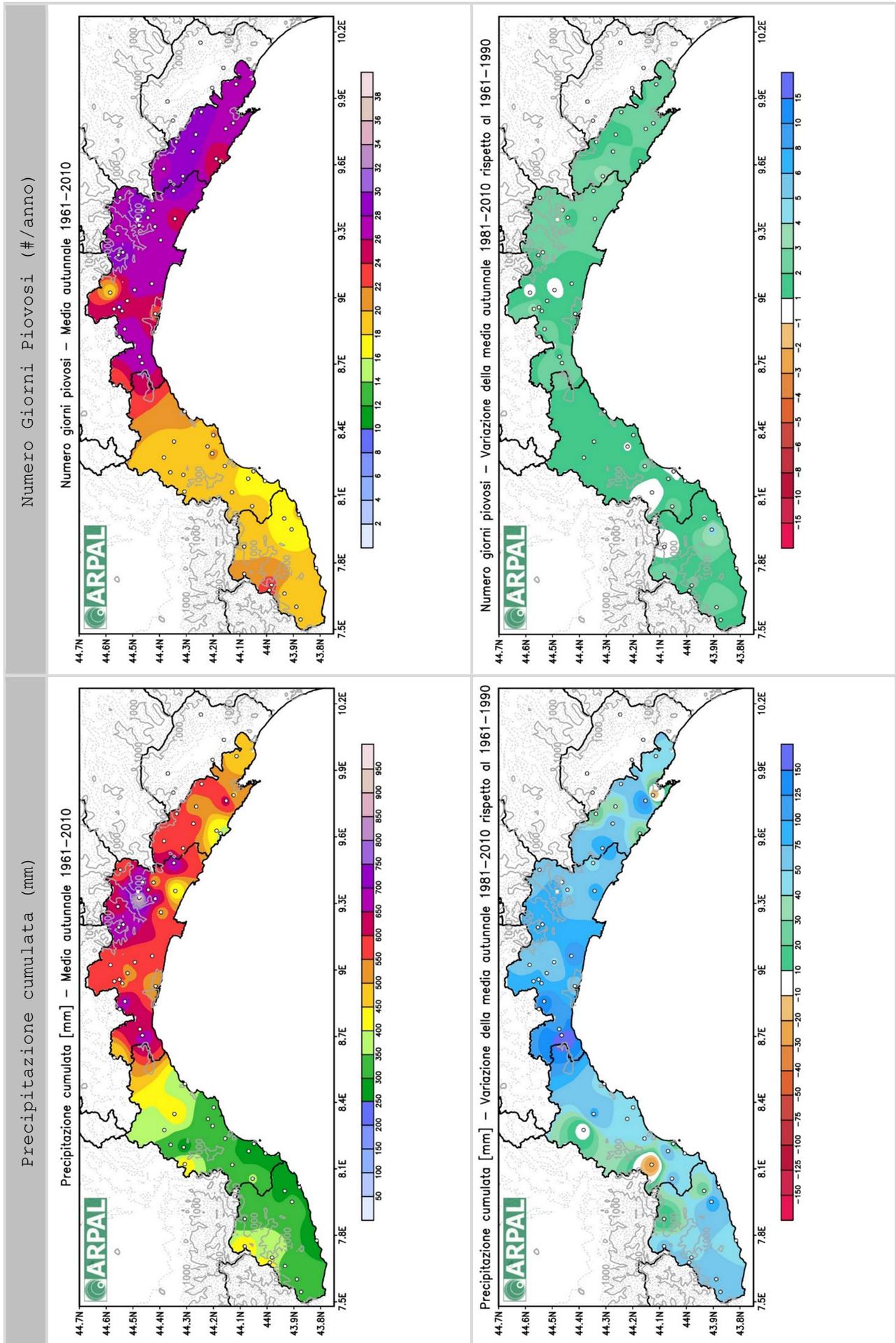


FIGURA 3.5 MAPPE DI PRECIPITAZIONE CUMULATA E DEL NUMERO DI GIORNI PIOVOSI – MEDIE AUTUNNALI

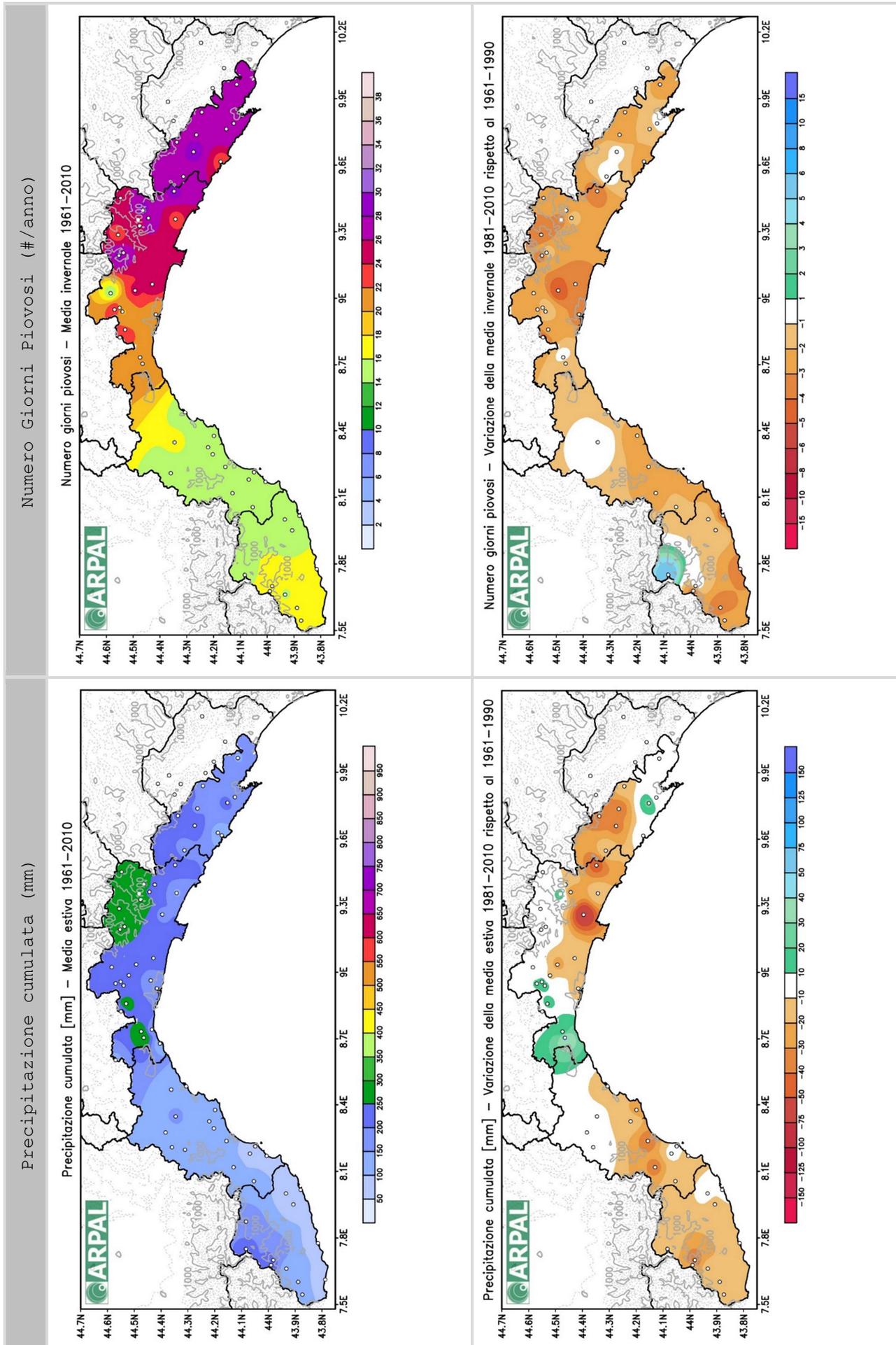


FIGURA 3.6 MAPPE DI PRECIPITAZIONE CUMULATA E DEL NUMERO DI GIORNI PIOVOSI - MEDIE INVERNALI

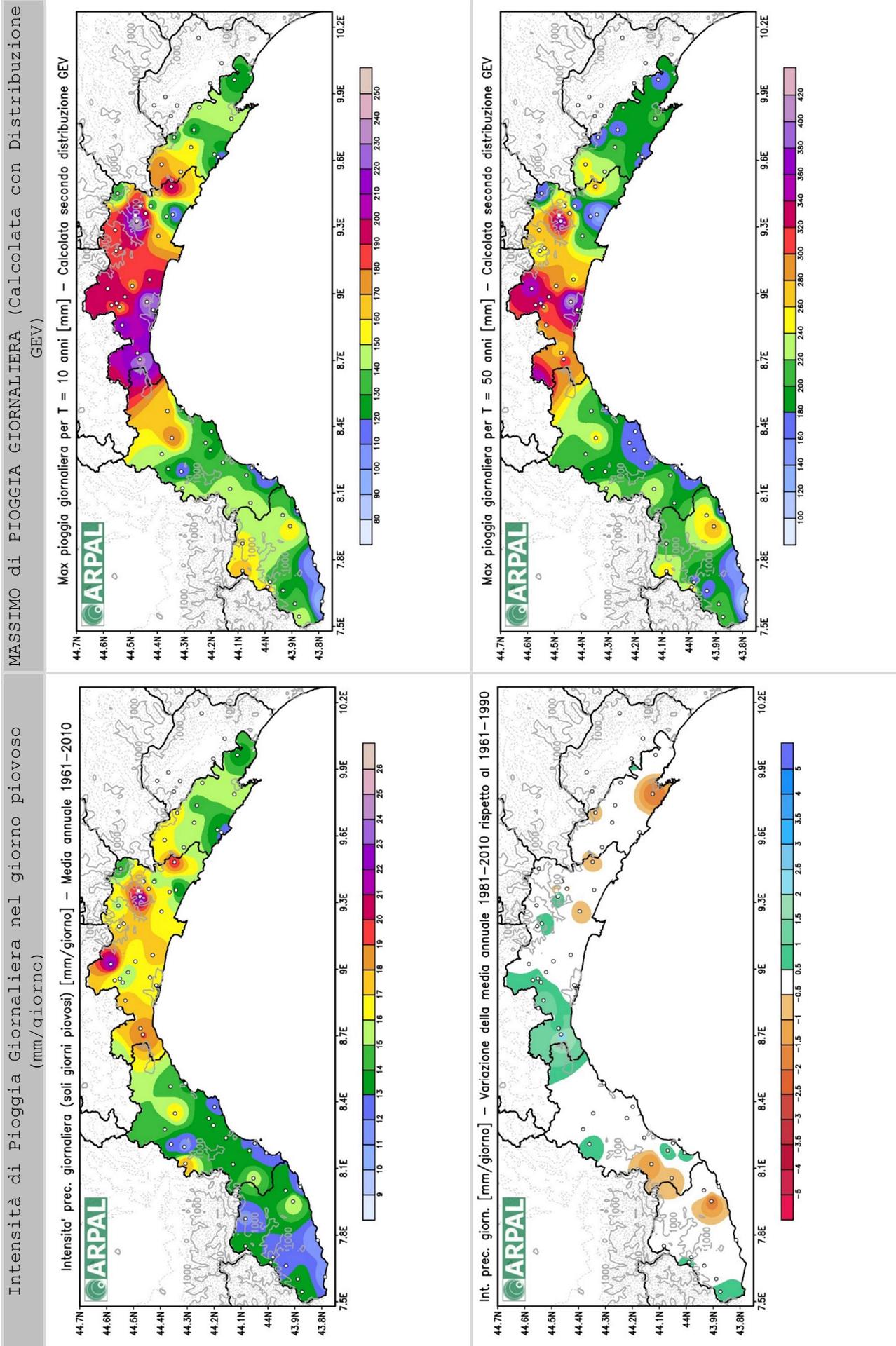


FIGURA 3.7 MAPPE INTENSITÀ PIOGGIA (MEDIA ANNUALE) E MASSIMO PIOGGIA GIORNALIERA (PER T=10 E T=50 ANNI)

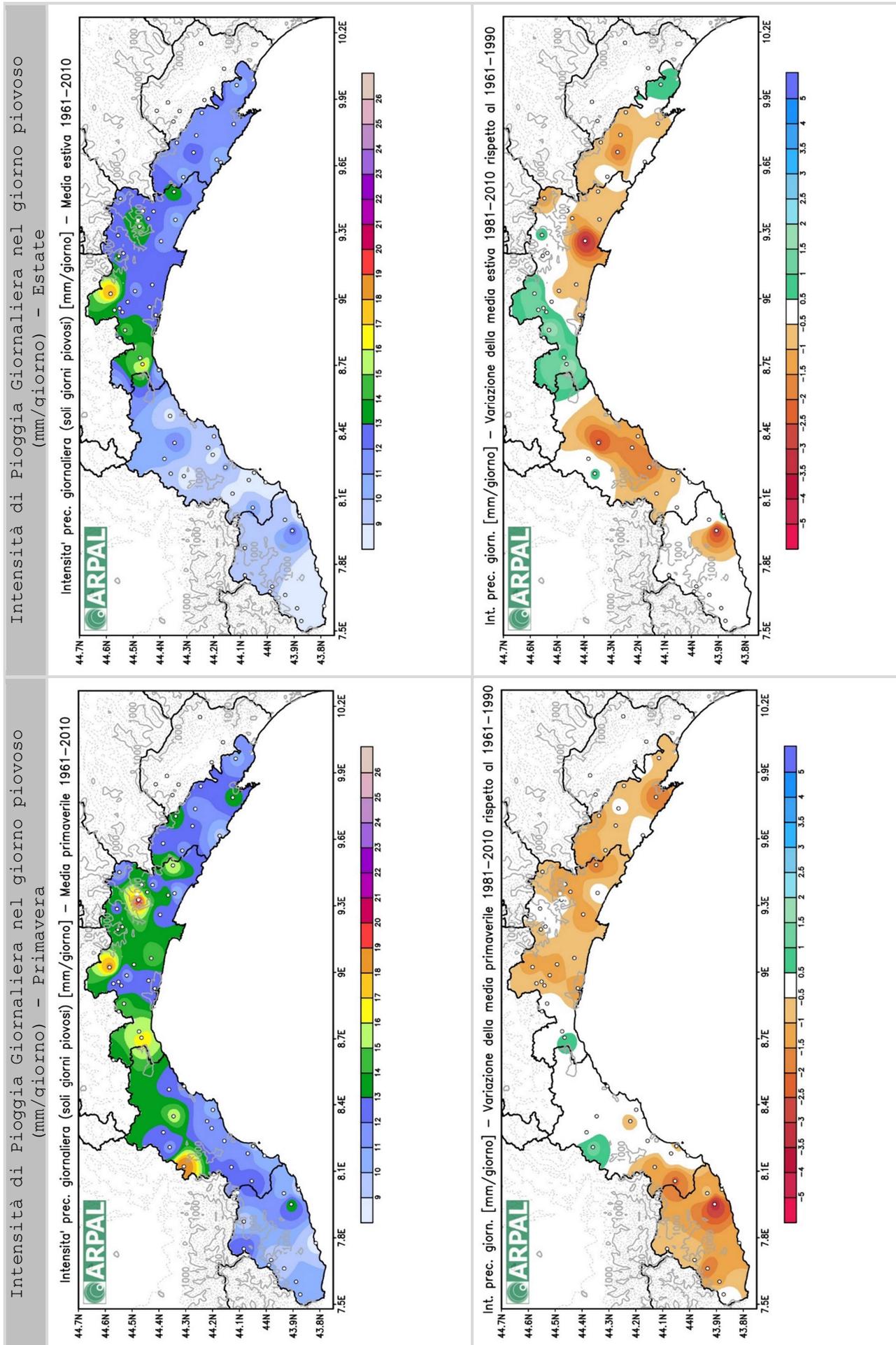


FIGURA 3.8 MAPPE INTENSITÀ PIOGGIA GIORNALIERA (MEDIE PRIMAVERILI ED ESTIVE)

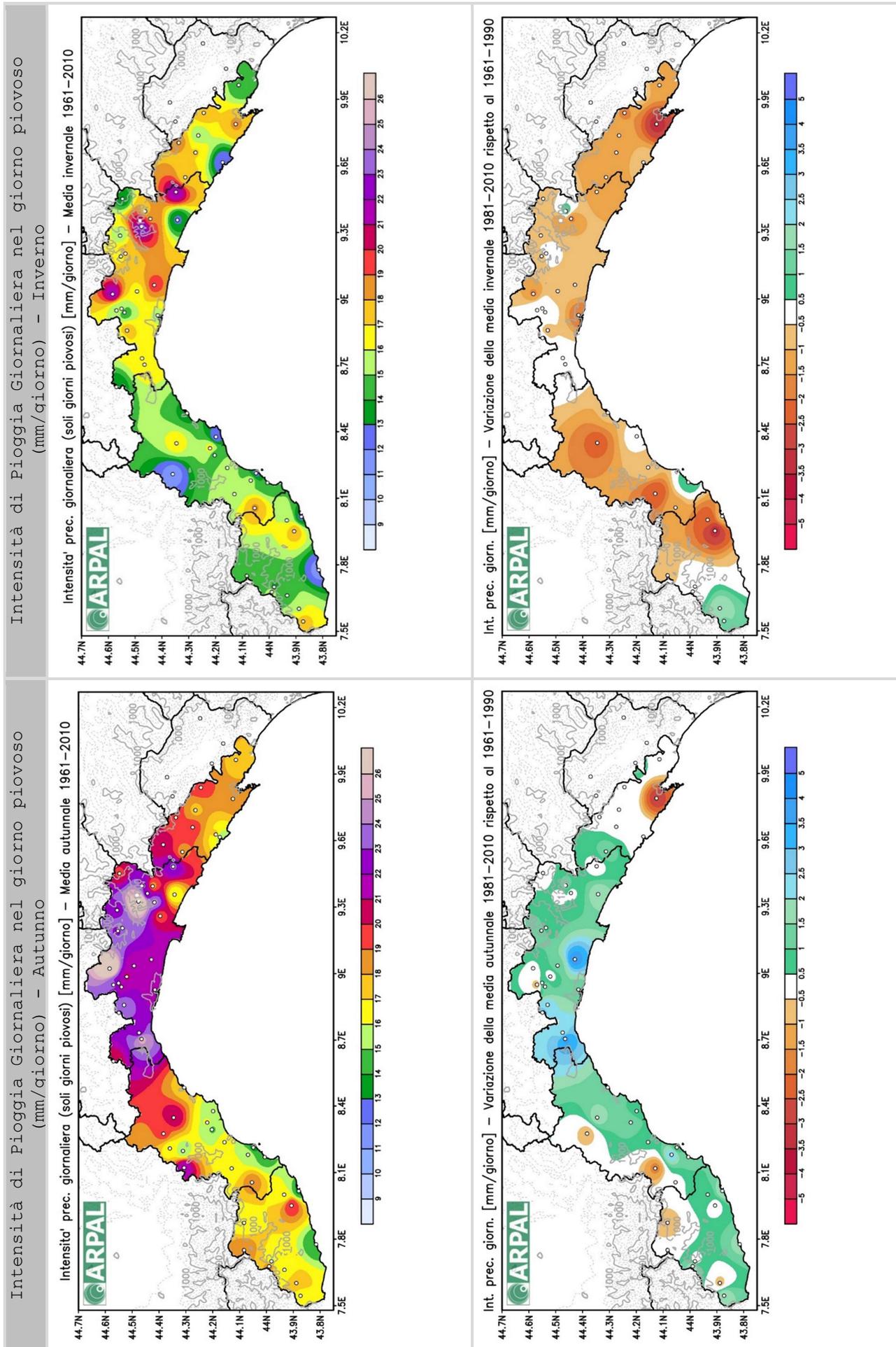


FIGURA 3.9 MAPPE INTENSITÀ PIOGGIA GIORNALIERA (MEDIE AUTUNNALI E INVERNALI)

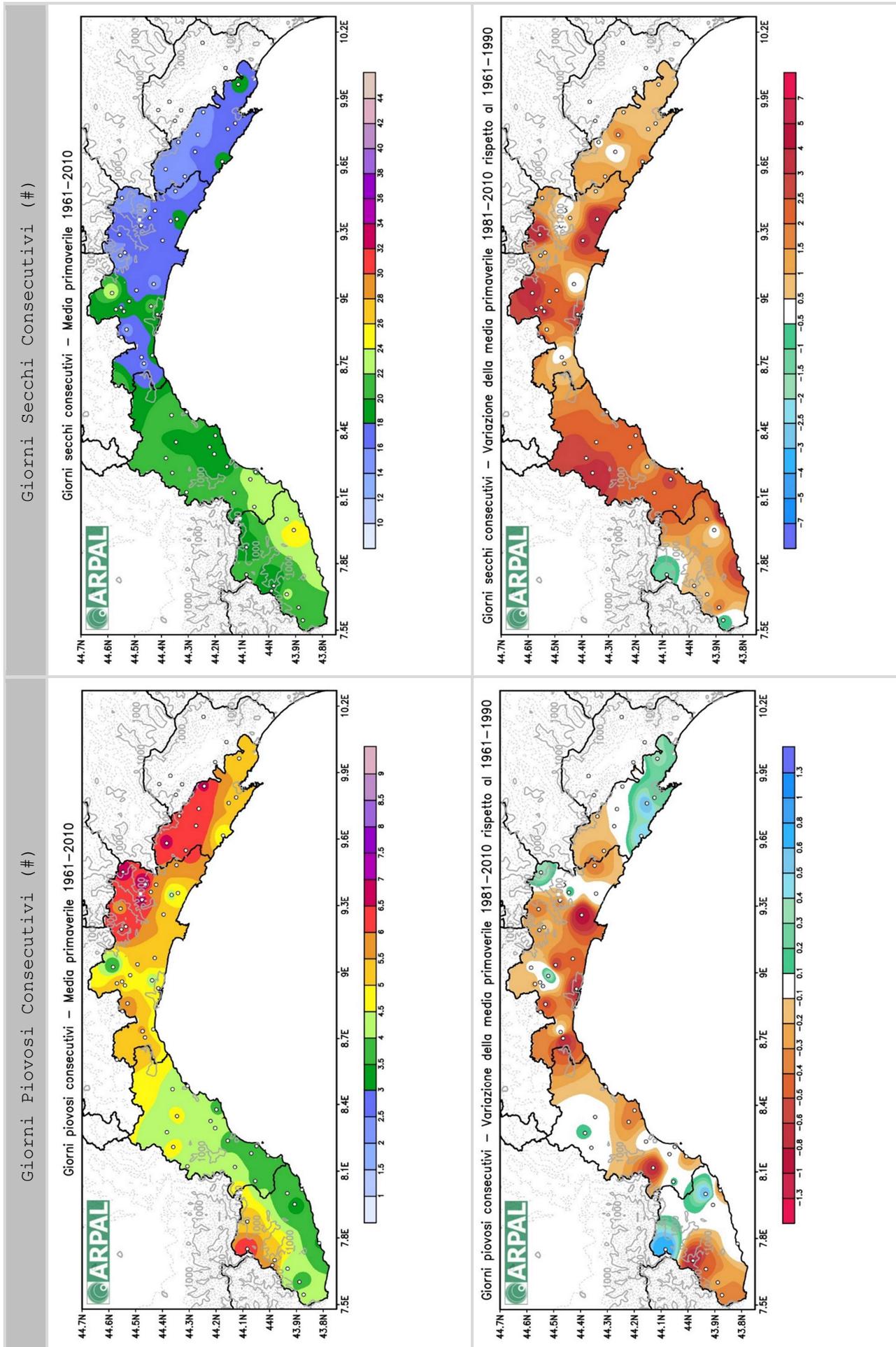


FIGURA 3.10 MAPPE GIORNI PIOVOSI E GIORNI SECCHI CONSECUTIVI (MEDIE PRIMAVERILI)

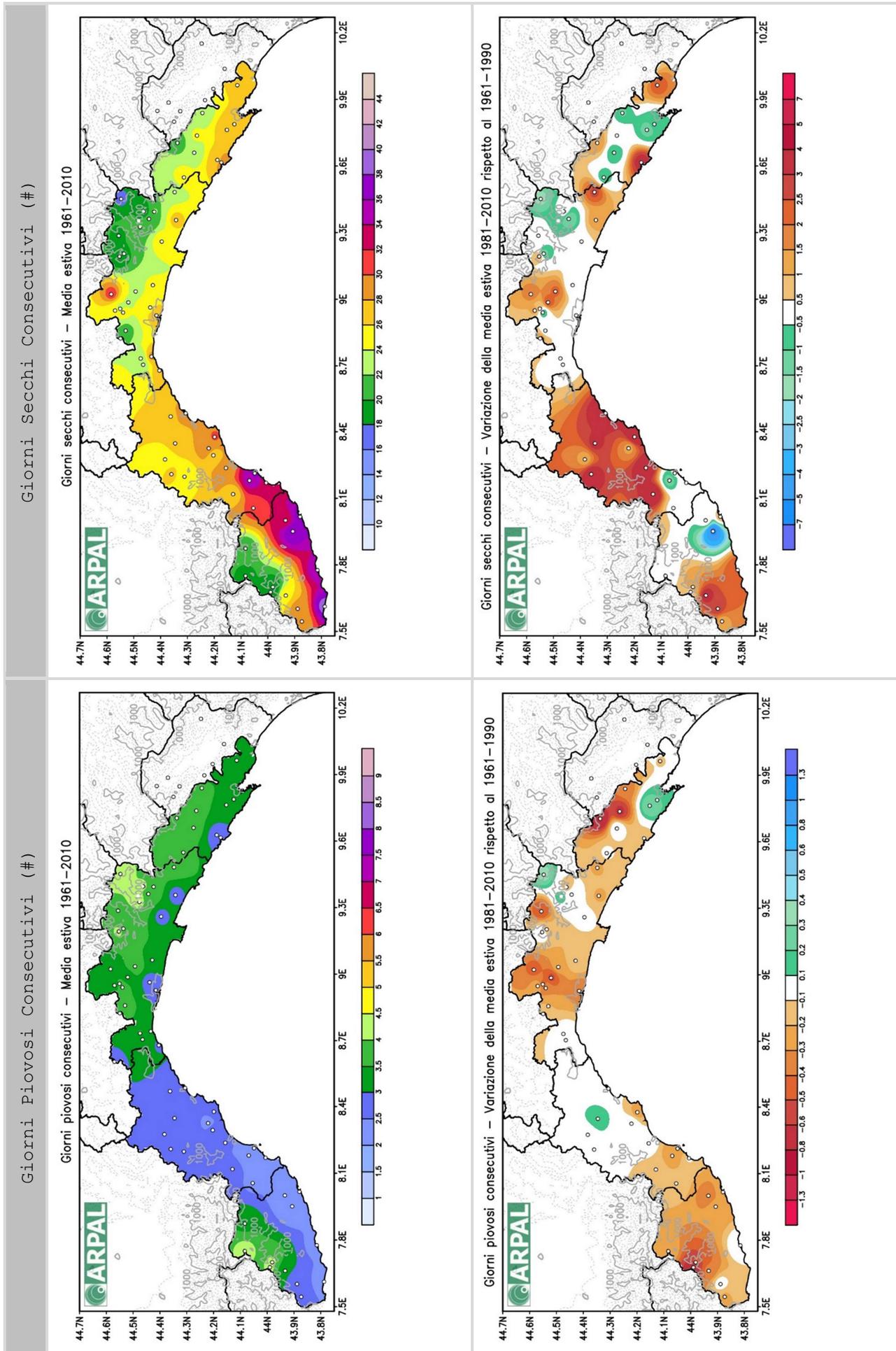


FIGURA 3.11 MAPPE GIORNI PIOVOSI E GIORNI SECCHI CONSECUTIVI (MEDIE ESTIVE)

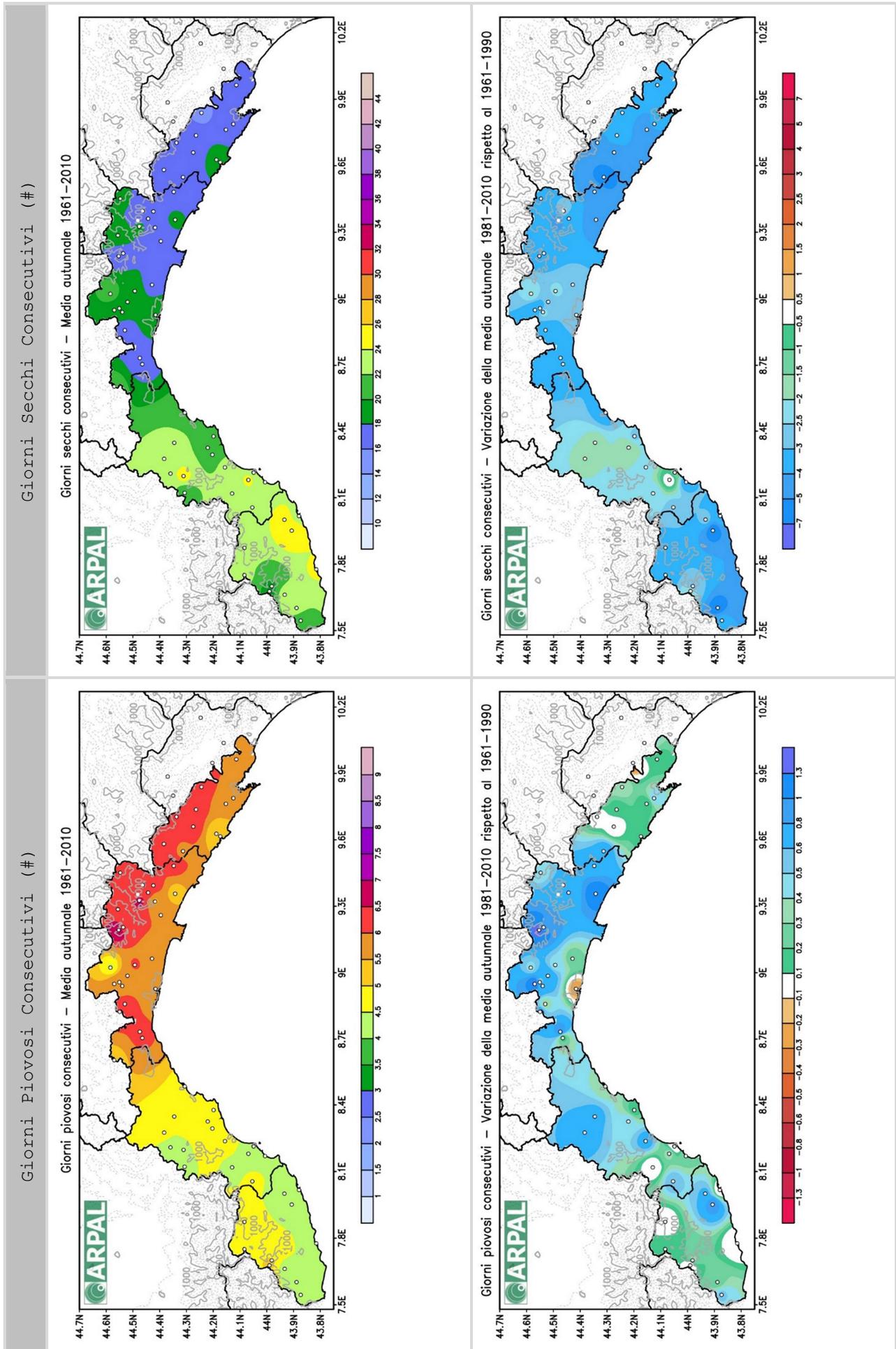


FIGURA 3.12 MAPPE GIORNI PIOVOSI E GIORNI SECCHI CONSECUTIVI (MEDIE AUTUNNALI)

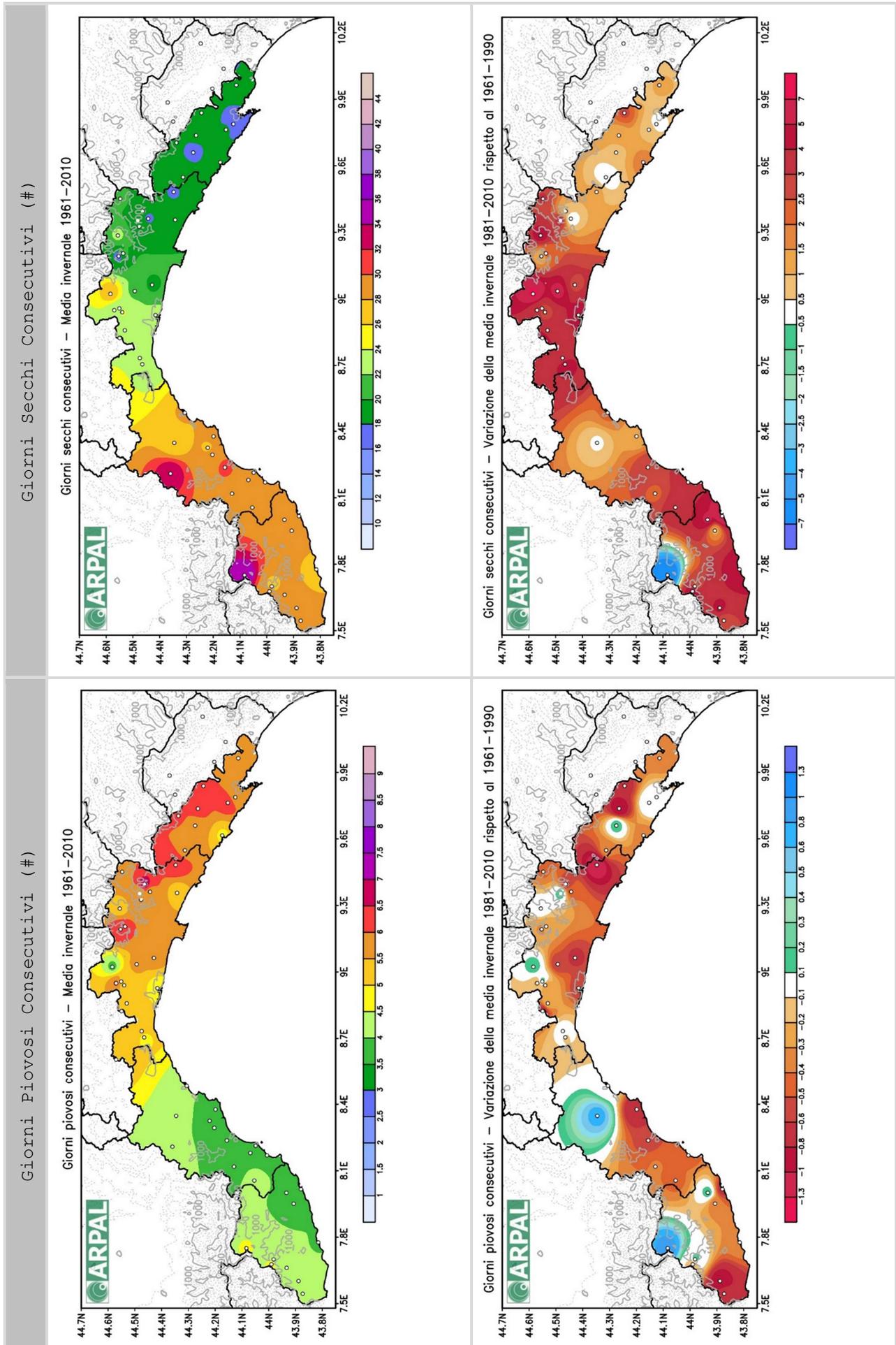


FIGURA 3.13 MAPPE GIORNI PIOVOSI E GIORNI SECCHI CONSECUTIVI (MEDIE INVERNALI)

Mappe di temperatura a scala regionale

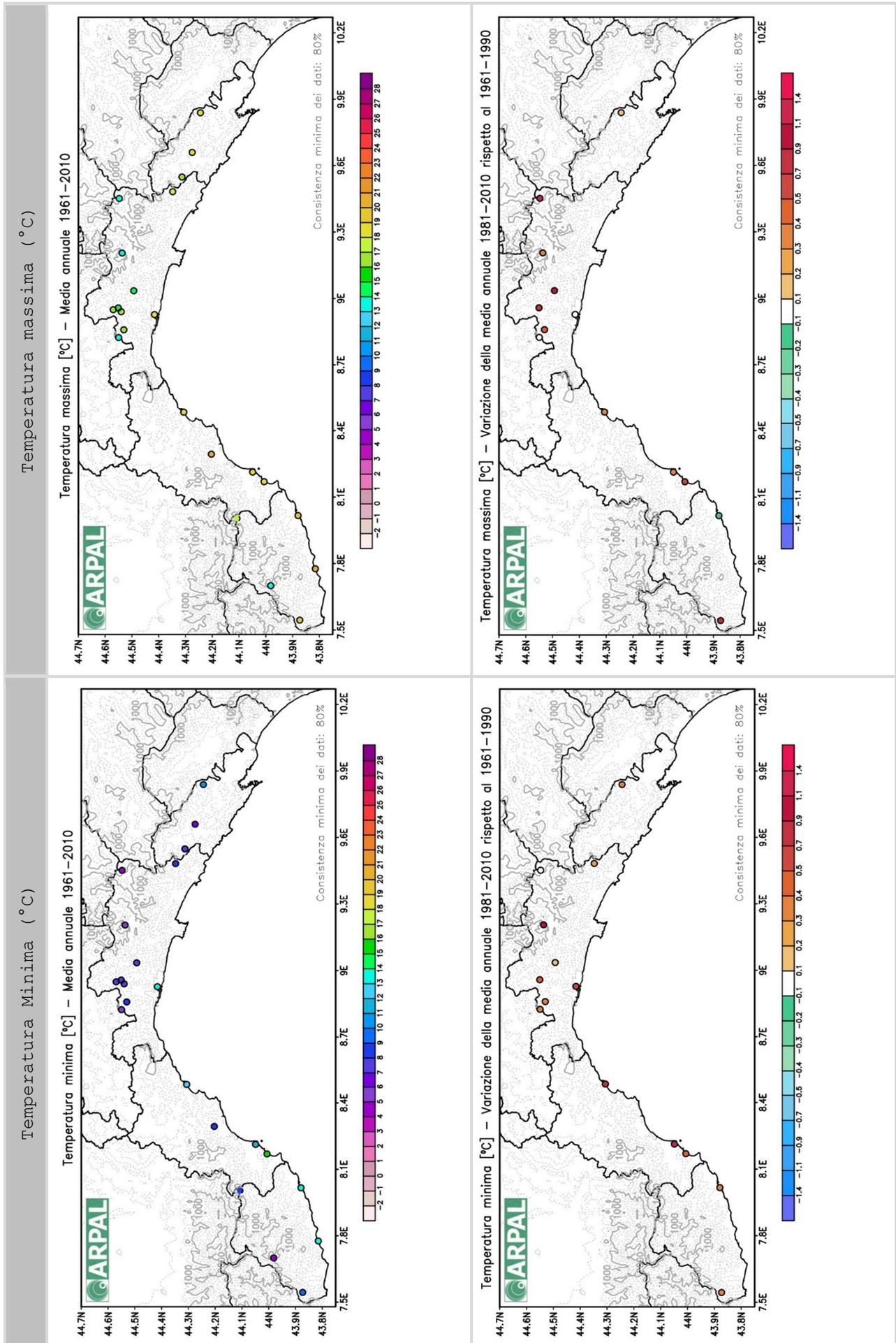


FIGURA 3.14 MAPPE TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA (MEDIE ANNUALI)

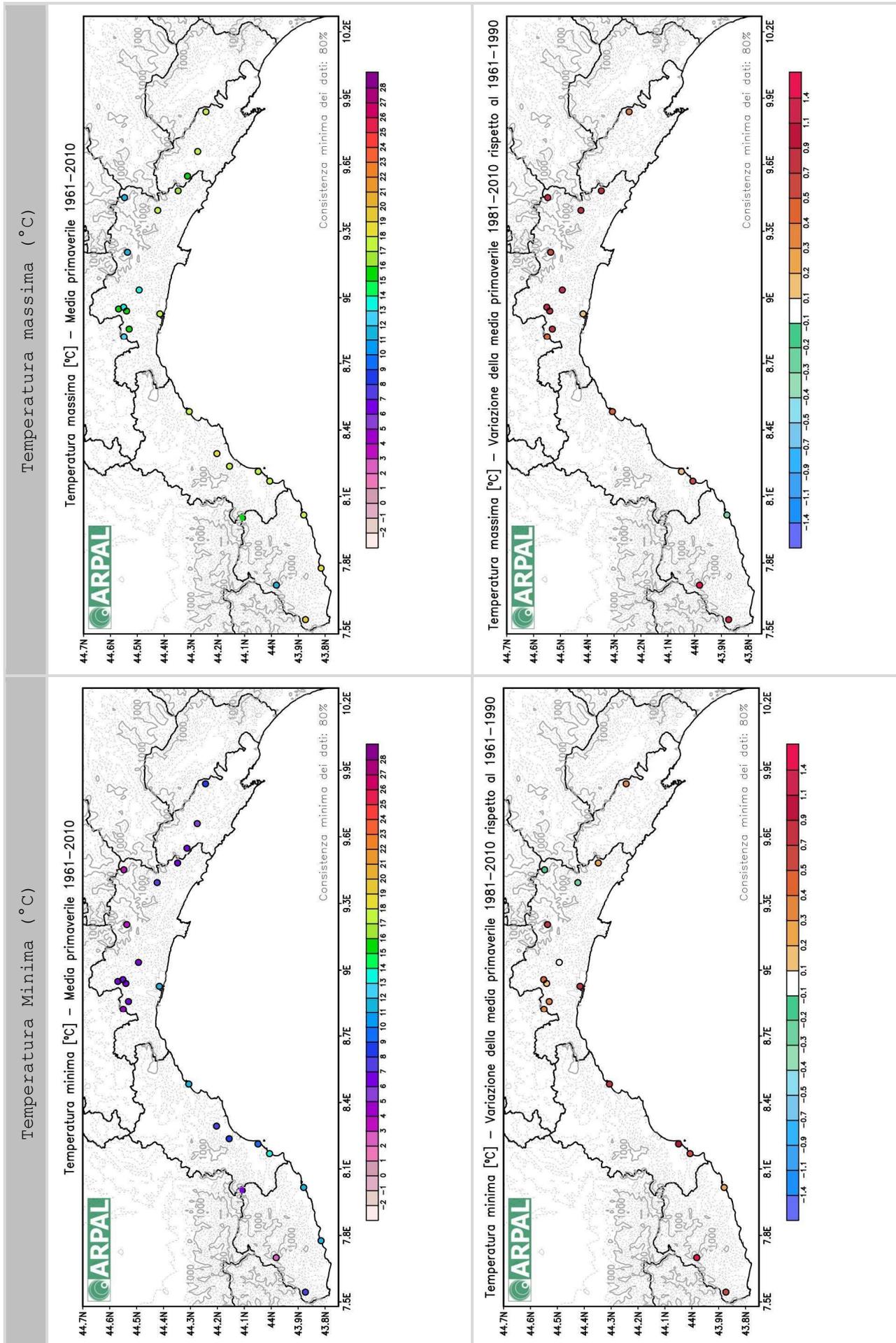


FIGURA 3.15 MAPPE TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA (MEDIE PRIMAVERILI)

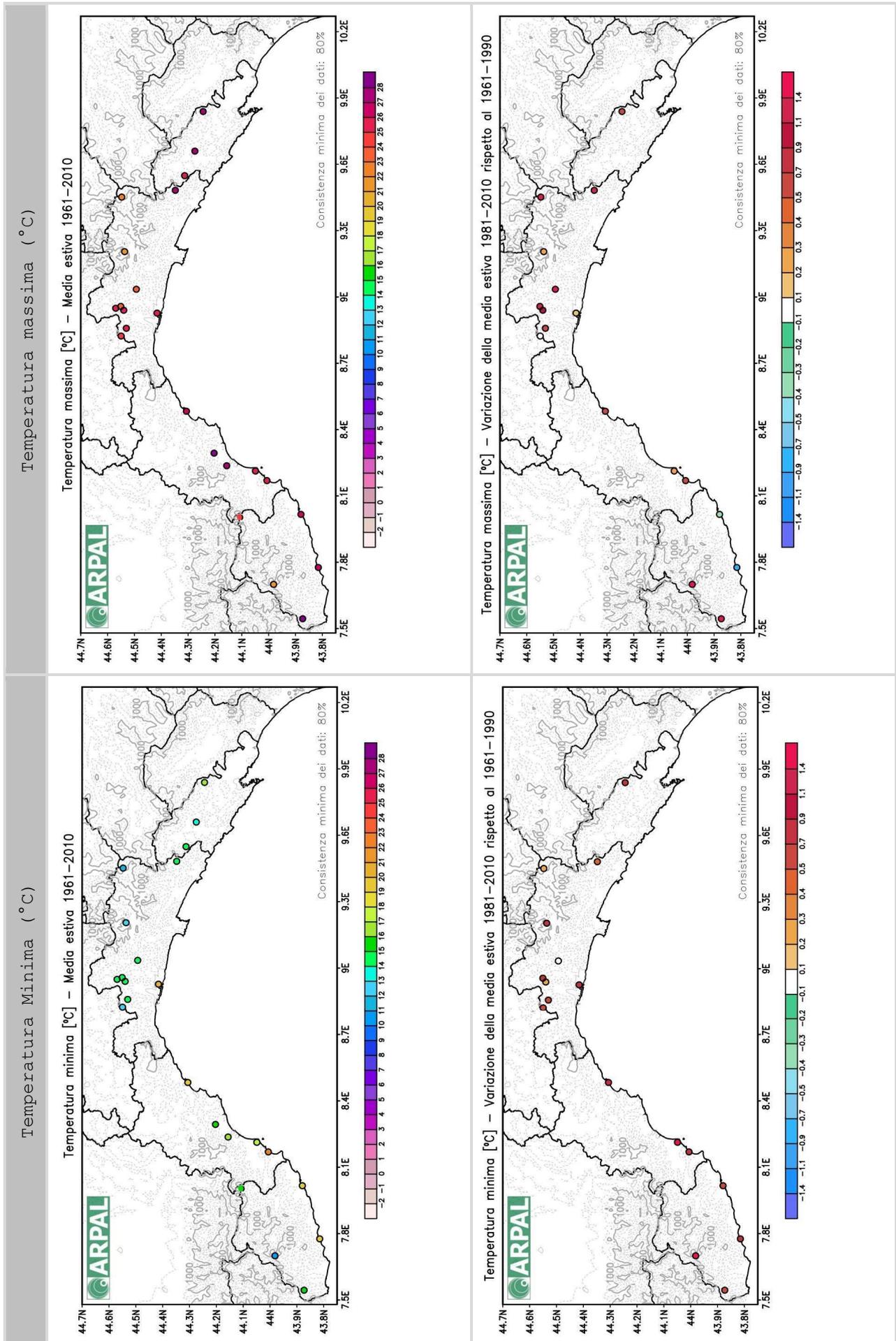


FIGURA 3.16 MAPPE TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA (MEDIE ESTIVE)

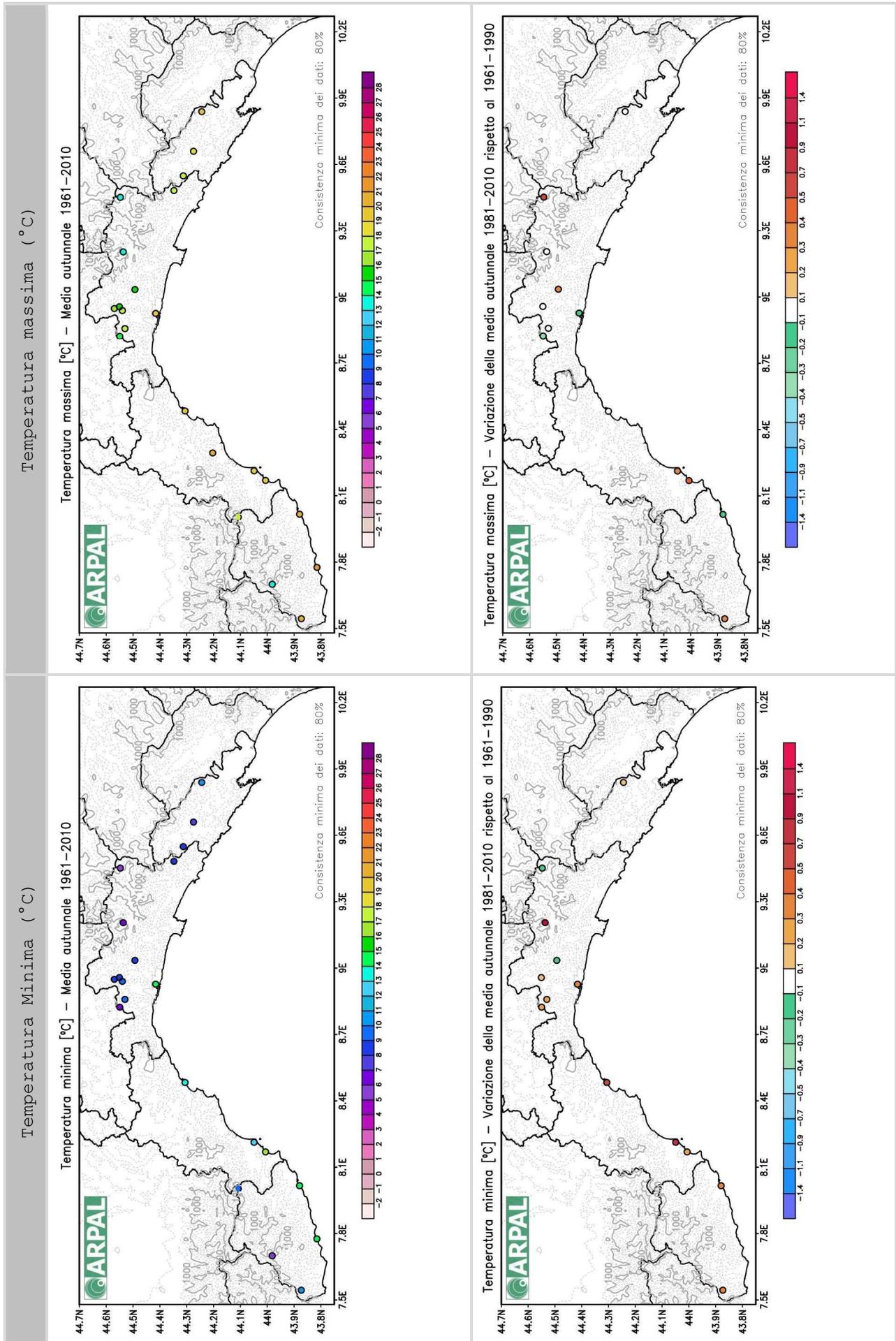


FIGURA 3.17 MAPPE TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA (MEDIE AUTUNNALI)

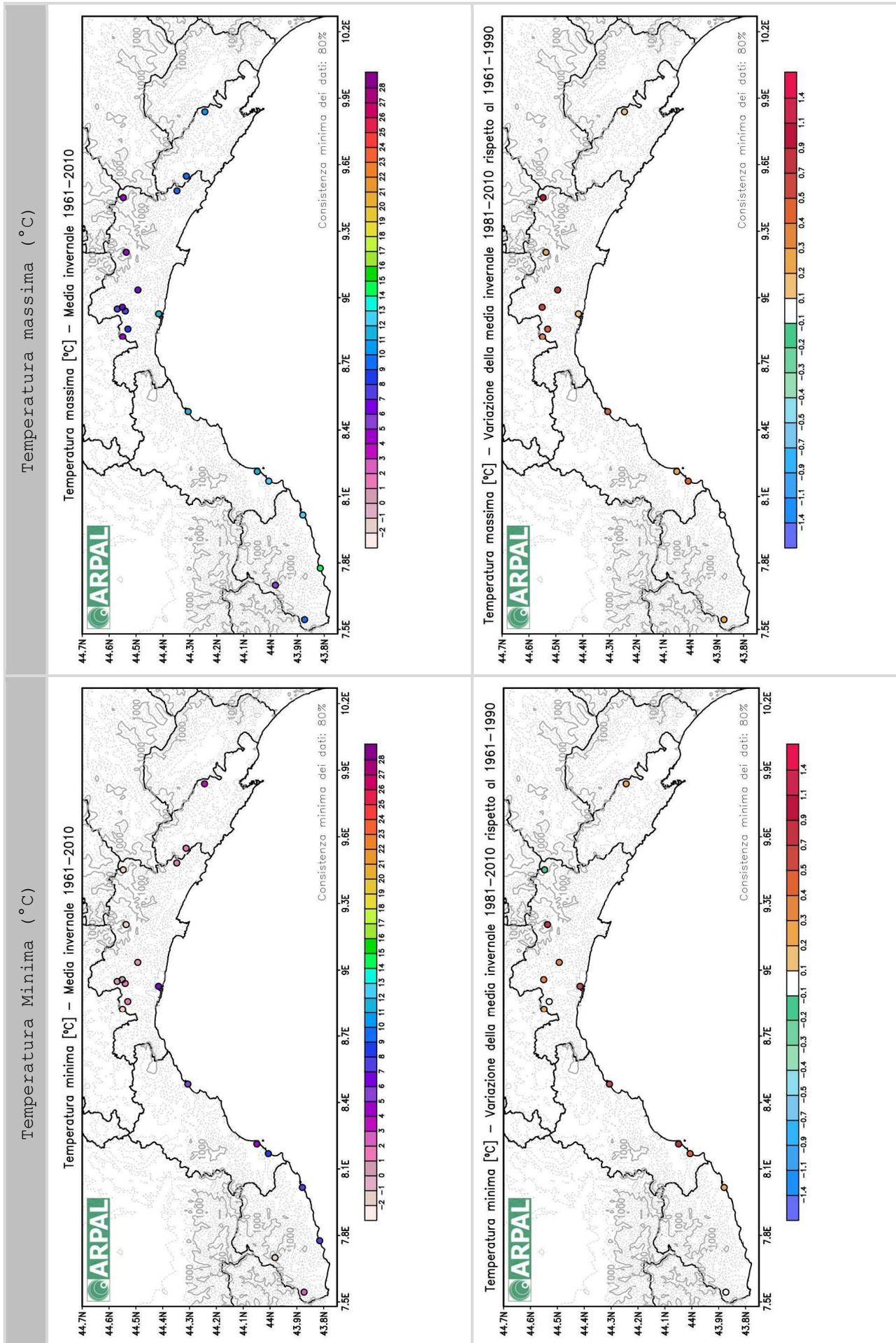


FIGURA 3.18 MAPPE TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA (MEDIE INVERNALI)

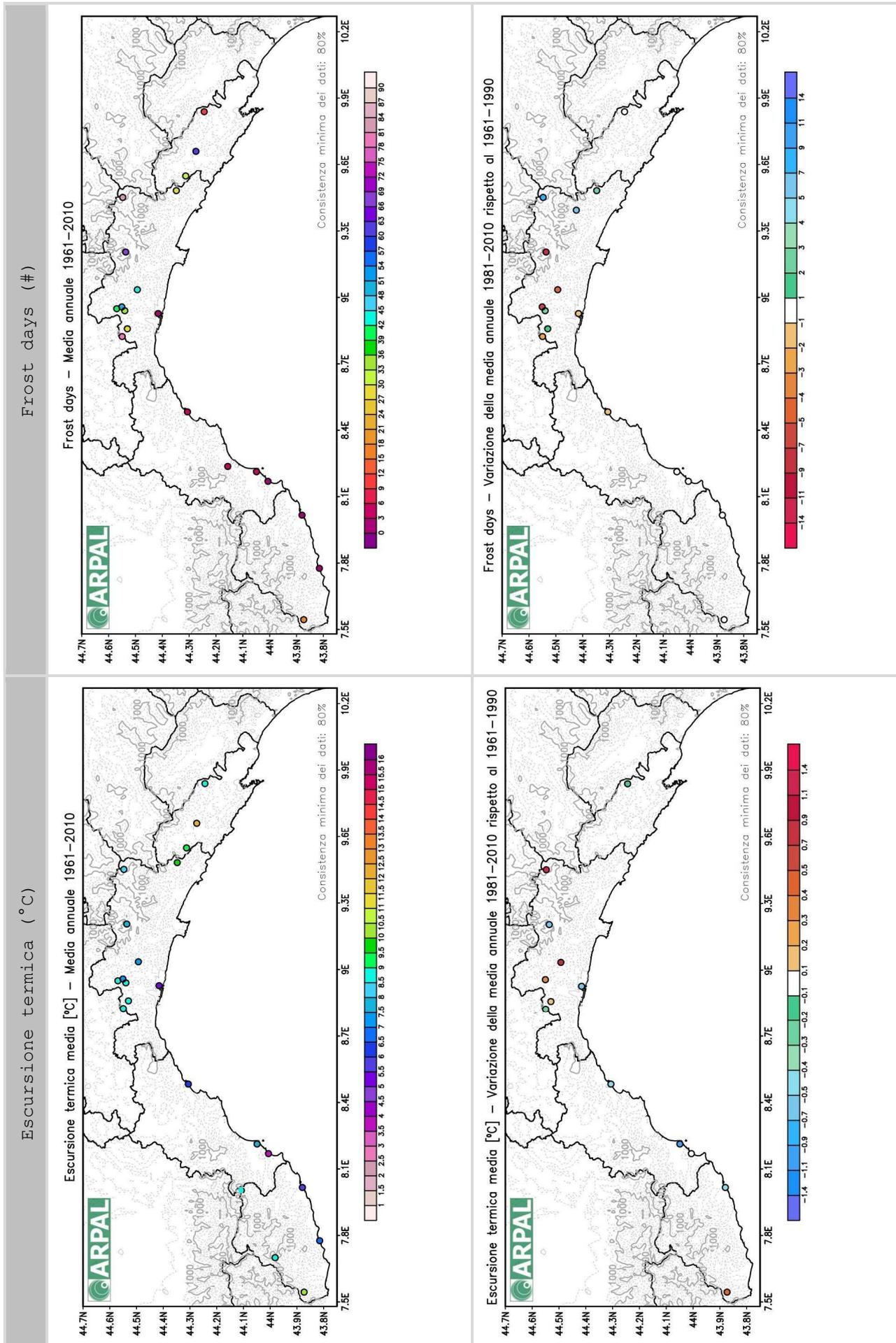


FIGURA 3.19 MAPPE ESCURSIONE TERMICA E FROST DAYS - MEDIE ANNUALI

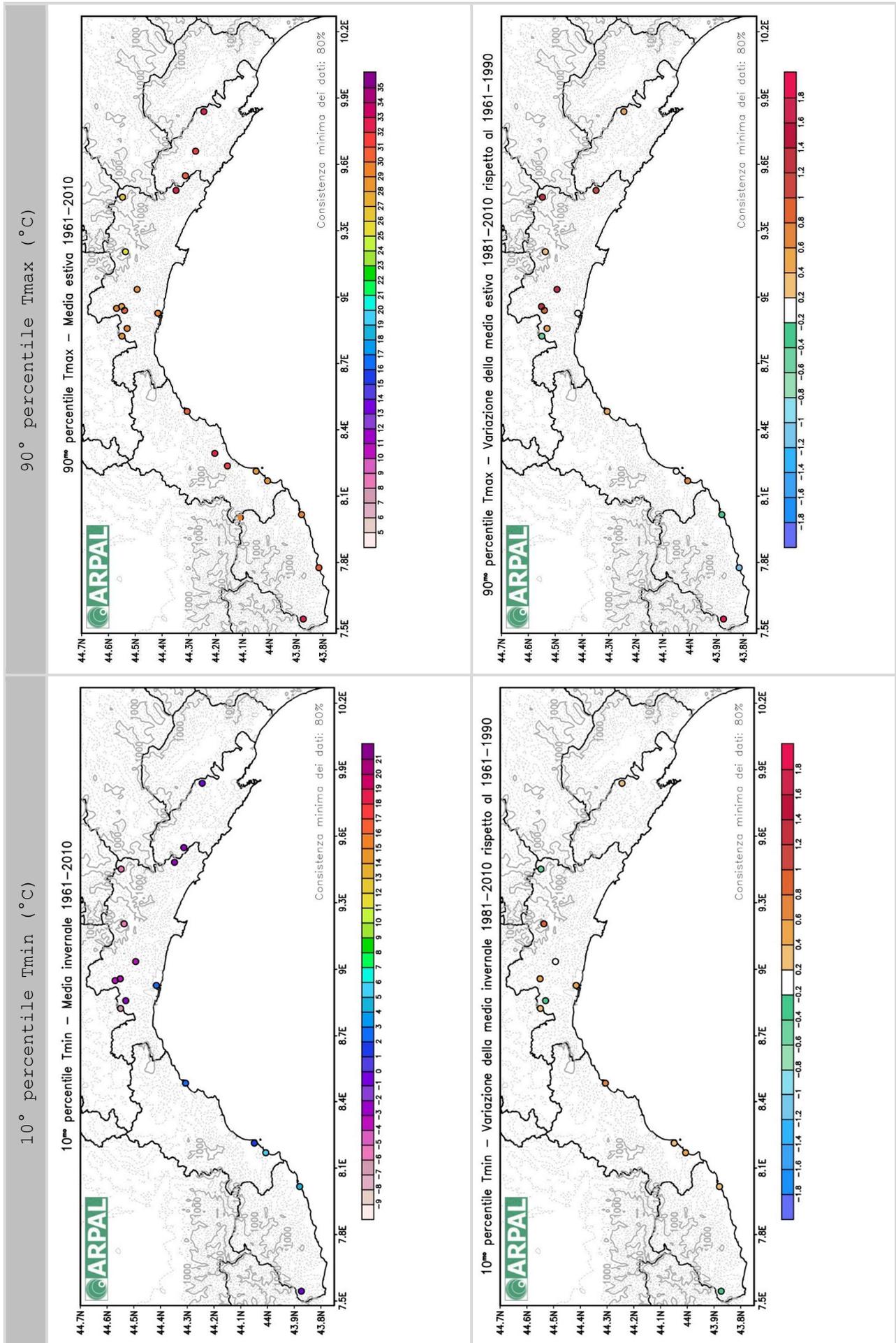


FIGURA 3.20 MAPPE 10° PERCENTILE (MEDIA INVERNALE) TMIN E 90° PERCENTILE TMAX (MEDIA ESTIVA)

3.1.2 Elaborazioni a scala locale (Comune della Spezia)

Le elaborazioni a scala locale riportano alcuni grafici e tabelle dell'atlante climatico (Agrillo and Bonati, 2013) predisposte per singole stazioni pluviometriche e termometriche. In particolare sono state selezionate le stazioni climatiche localizzate all'interno del territorio del Comune della Spezia o in prossimità di esso (Tabella 3-3 e Figura 3.21). Tra le stazioni selezionate solo una è localizzata all'interno del territorio comunale in prossimità dell'area portuale denominata "La Spezia".

TABELLA 3-3 ELENCO DELLE STAZIONI UTILIZZATE PER L'ANALISI A SCALA LOCALE

Tipologia stazione	Stazione selezionata
Stazione Pluviometrica	La Spezia
	Calice al Cornoviglio
	S. Margherita Vara
	Levanto
	Montale di Levanto
Stazione Termometrica	Serò di Zignago
	Sarzana
	La Spezia
	Calice al Cornoviglio
	S. Margherita Vara

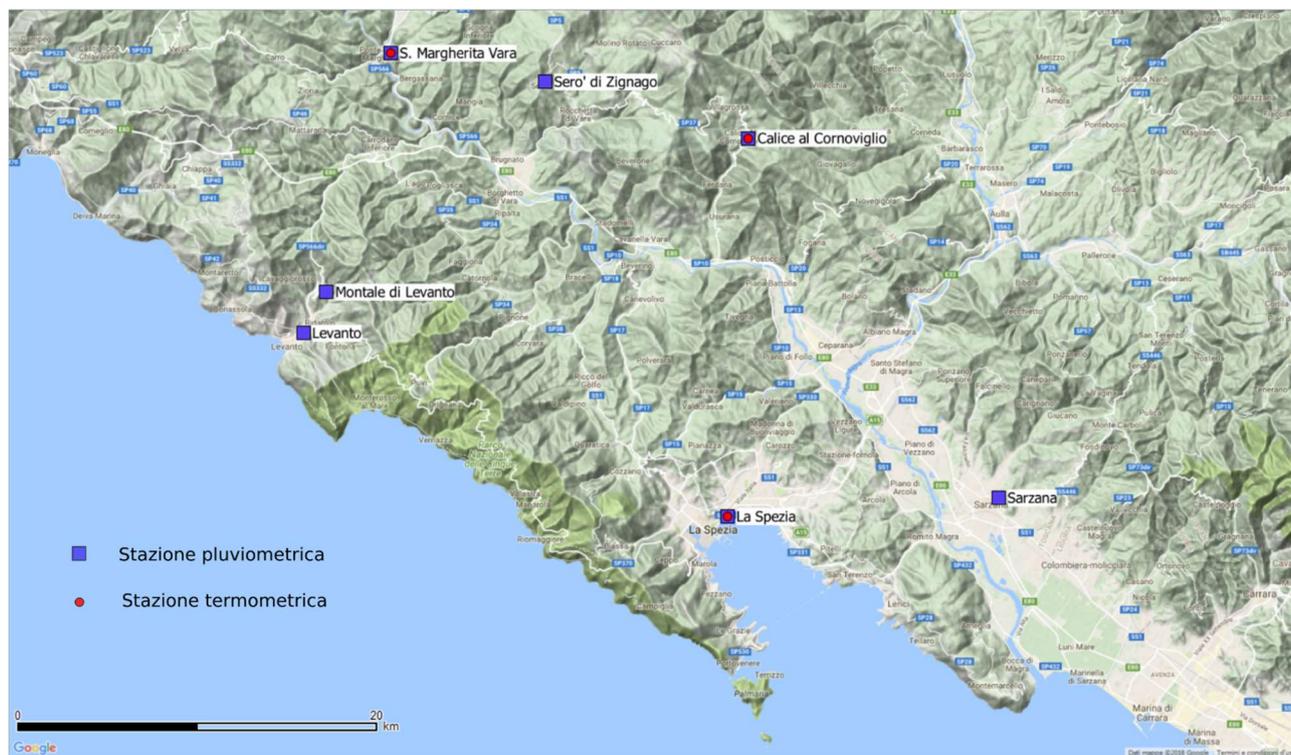


FIGURA 3.21 LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI UTILIZZATE PER L'ANALISI A SCALA LOCALE

In particolare relativamente alle precipitazioni, i grafici mostrati dalla Figura 3.22 alla Figura 3.28 riportano i seguenti parametri:

- cumulata di precipitazione annuale;
- cumulate di precipitazione calcolate come medie mensili trentennali sui tre periodi 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010;
- massimo di precipitazione annuale calcolato utilizzando finestre mobili di 1, 3, 6, 12, 24 ore;
- grafico delle LSPP (Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica) per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200, 500 anni calcolate con la distribuzione GEV (General Extreme Value).

Relativamente alle temperature, i grafici mostrati dalla Figura 3.29 alla Figura 3.31 riportano i seguenti parametri:

- numero dei giorni freddi invernali, definiti come i giorni aventi temperature minime inferiori alla media 1961-1990 dei decimi percentili delle temperature minime invernali;
- numero dei giorni caldi estivi definiti come i giorni aventi temperature massime superiori alla media 1961-1990 dei novantesimi percentili delle temperature massime estive;
- temperature annuali (minime, massime e medie con queste ultime ottenute a partire dai dati di temperatura minima e massima).

Andando nel dettaglio, i grafici relativi alle precipitazioni cumulate e alle temperature annuali e stagionali, nonché di quelli riguardanti i giorni caldi e freddi stagionali, riportano in sovrapposizione ai dati annuali e stagionali, le rispettive medie trentennali nei periodi 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010, nonché le medie del ventennio 1991-2010. Sui dati è stata svolta un'ulteriore analisi statistica che ha riguardato la ricerca sulle intere serie storiche di trend statisticamente significativi, nonché lo studio della significatività delle differenze tra i valori medi calcolati sull'ultimo ventennio (1991-2010) e sul primo trentennio (1961-1990) delle serie storiche. I trend dei dati di temperatura e precipitazione sono stati valutati stimando per ogni serie la linea di regressione col metodo dei minimi quadrati e valutando la loro significatività con il t-test di Student (Hayslett, 2001). La stima della significatività della differenza tra i valori medi annuali e stagionali relativi all'ultimo ventennio rispetto al primo trentennio, essa è stata calcolata attraverso il t-test di Welch (Welch, 1947) che consiste in un adeguamento del t-test di Student per campioni con varianze differenti come nel caso dei periodi 1991-2010 e 1961-1990. I risultati del test sono indicati nei grafici con un'apposita stringa di testo indicando se sono o non sono significativi e/o indicando nel caso di trend statisticamente significativi la relativa equazione della retta di regressione. Anche a livello di singole stazioni, le stagioni sono state definite secondo la convenzione meteorologica.

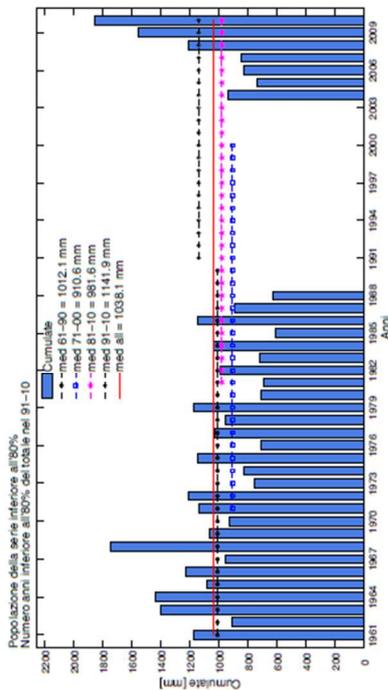
In aggiunta ai grafici sopra descritti le figure riportano le tabelle degli estremi che contengono un quadro riassuntivo dei valori minimi e massimi assoluti delle temperature minime e massime, nonché un riepilogo dei massimi orari di precipitazione cumulati in finestre mobili di 1, 3, 6, 12, 24 ore e nella finestra fissa di 24 ore compresa tra le 9 del giorno precedente e le 9 del giorno successivo.

I grafici predisposti a scala locale sono stati raggruppati e riportati di seguito separatamente per le precipitazioni e le temperature.

Grafici di precipitazione a scala locale

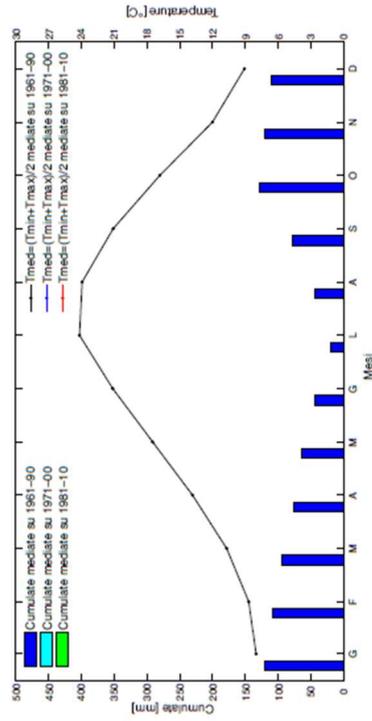
LA SPEZIA

Cumulate di precipitazione annuali

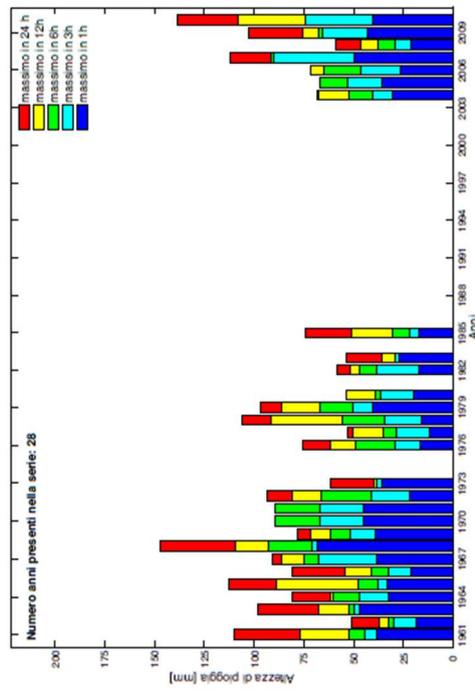


nni validi 1961-1990: 28; Anni validi 1971-2000: 15; Anni validi 1981-2010: 15; Anni validi 1991-2010: 7; Anni validi 1961-2010: 35

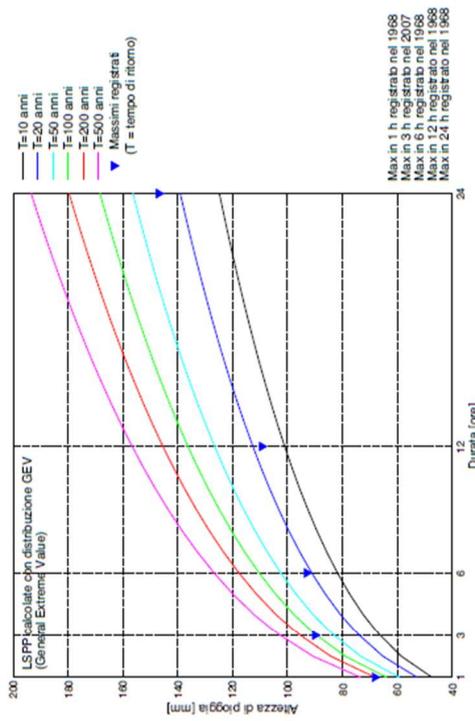
Medie mensili di precipitazione e temperatura



Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 28 anni)



Max in 1 h registrato nel 1968
 Max in 3 h registrato nel 2007
 Max in 6 h registrato nel 1968
 Max in 12 h registrato nel 1968
 Max in 24 h registrato nel 1968

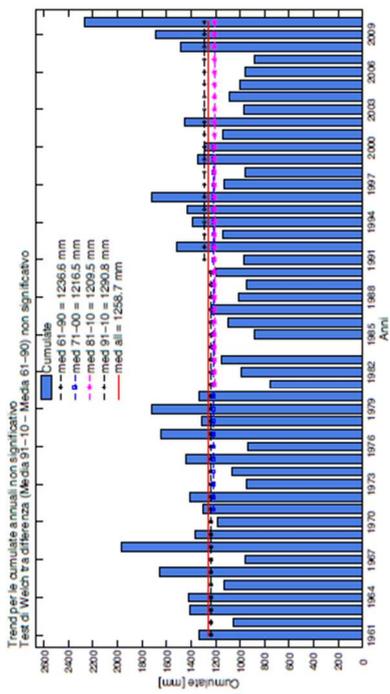
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variable	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	28	28	28	28	28	35
Valore (mm)	68,2	90,0	93,0	109,4	147,0	119,8
Anno	1968	2007	1968	1968	1968	2010

FIGURA 3.22 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "LA SPEZIA"

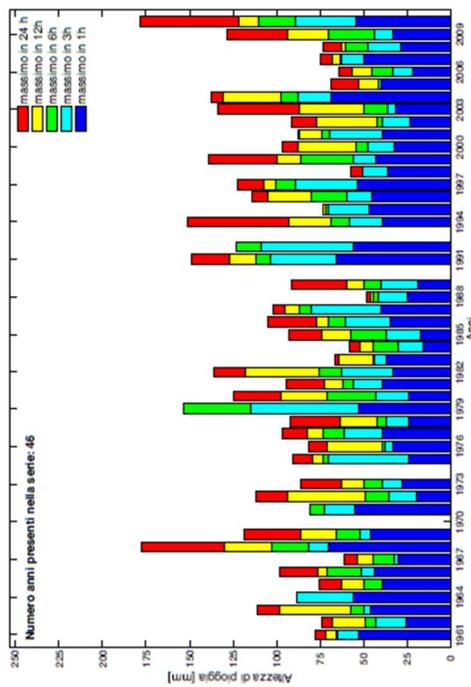
SARZANA

Cumulate di precipitazione annuali

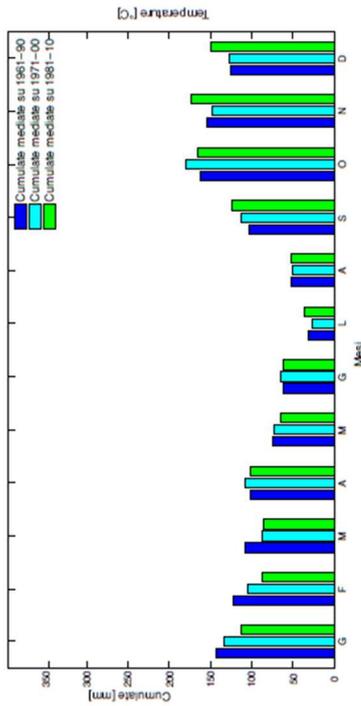


Anni validi 1961-1990: 29; Anni validi 1971-2000: 29; Anni validi 1981-2010: 20; Anni validi 1991-2010: 49

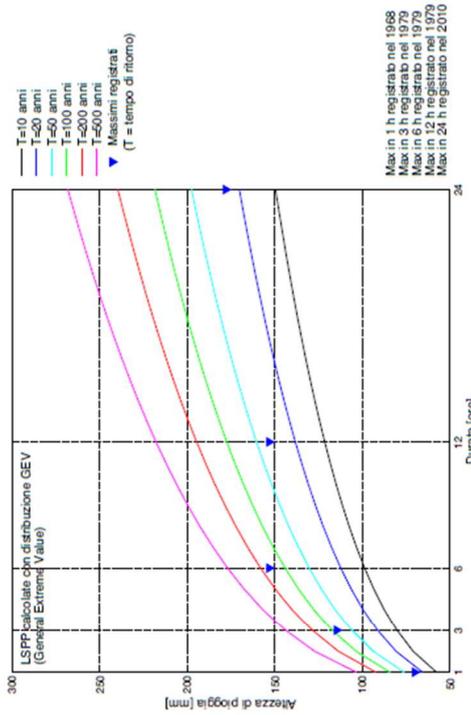
Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Medie mensili di precipitazione e temperatura



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 46 anni)



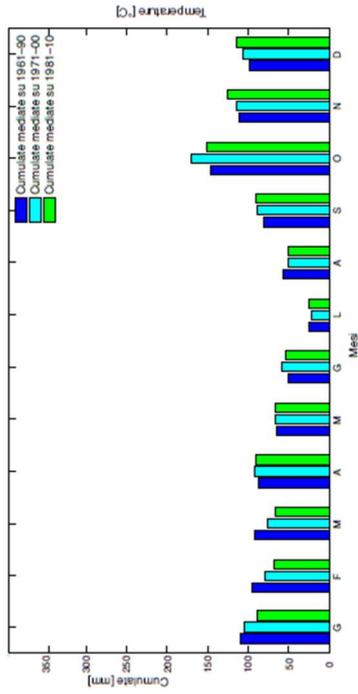
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variabile	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	46	46	46	46	46	49
Valore (mm)	70,0	114,6	153,2	178,0	169,4	168,8
Anno	1968	1979	1979	2010	2010	1968

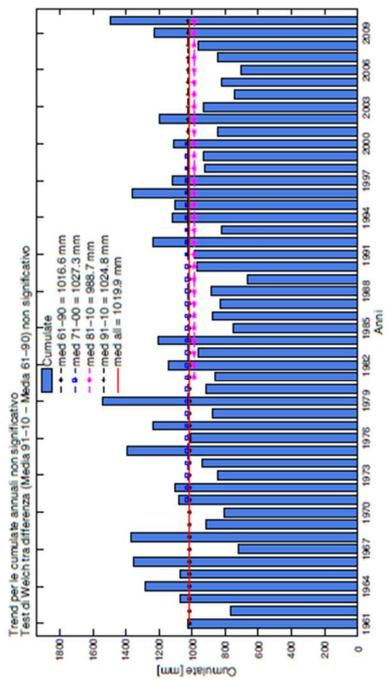
FIGURA 3.23 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "SARZANA"

LEVANTO

Medie mensili di precipitazione e temperatura

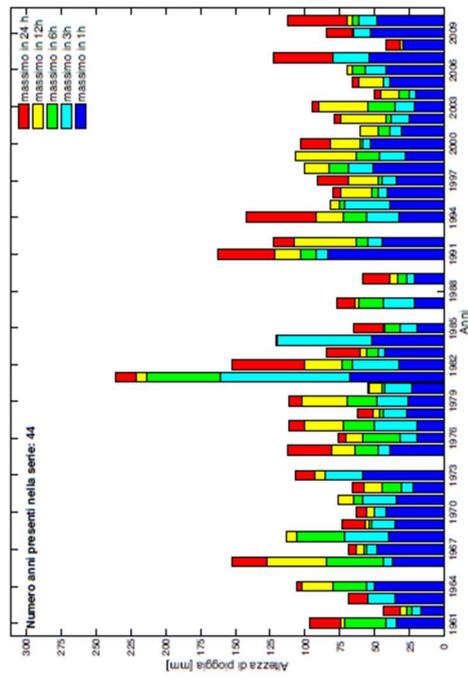


Cumulate di precipitazione annuali

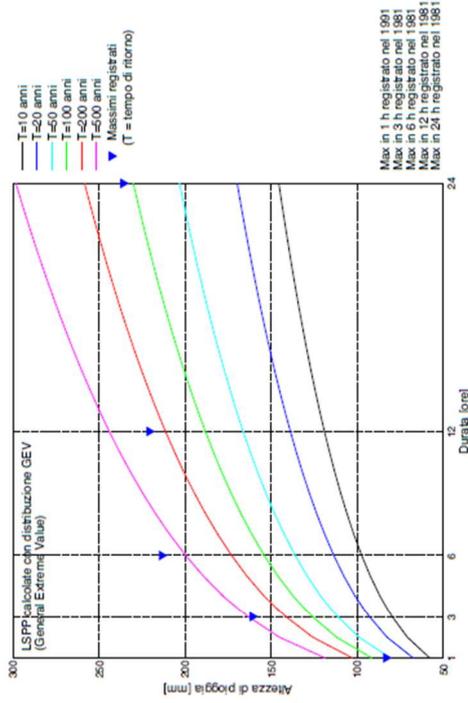


Anni validi 1961-1990: 30; Anni validi 1971-2000: 30; Anni validi 1981-2010: 30; Anni validi 1991-2010: 20; Anni validi 1961-2010: 50

Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 44 anni)



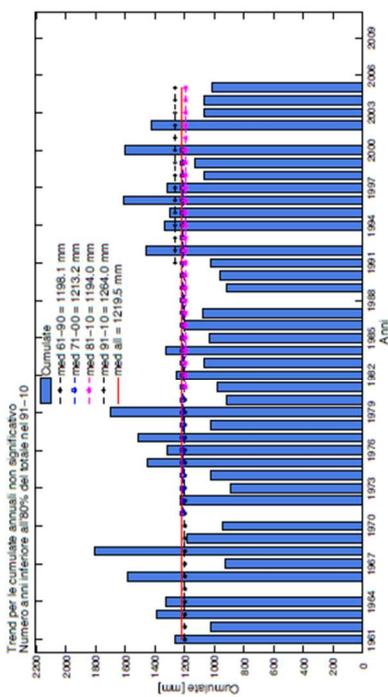
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variable	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	44	44	44	44	44	50
Valore (mm)	83,2	160,8	213,6	236,0	236,0	225,4
Anno	1981	1981	1981	1981	1981	1981

FIGURA 3.24 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "LEVANTO"

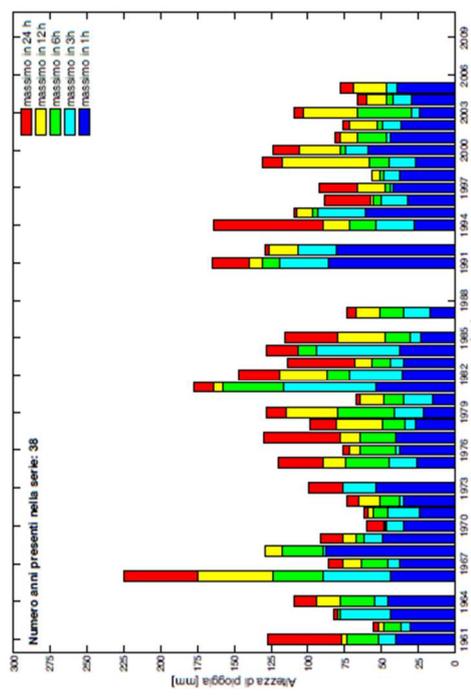
MONTALE DI LEVANTO

Cumulate di precipitazione annuali

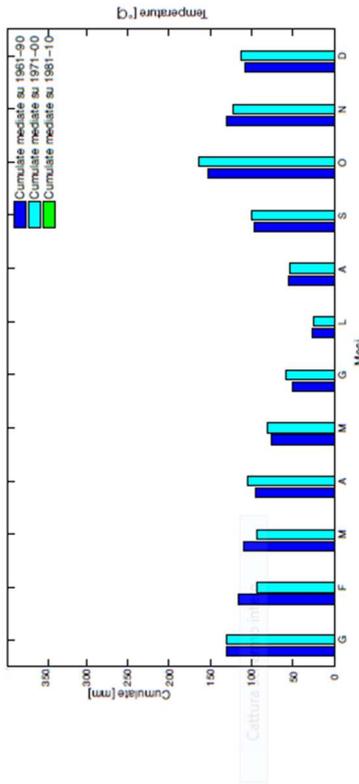


ni validi 1961-1990: 27; Anni validi 1991-2010: 22; Anni validi 1991-2010: 13; Anni validi 1961-2010: 40

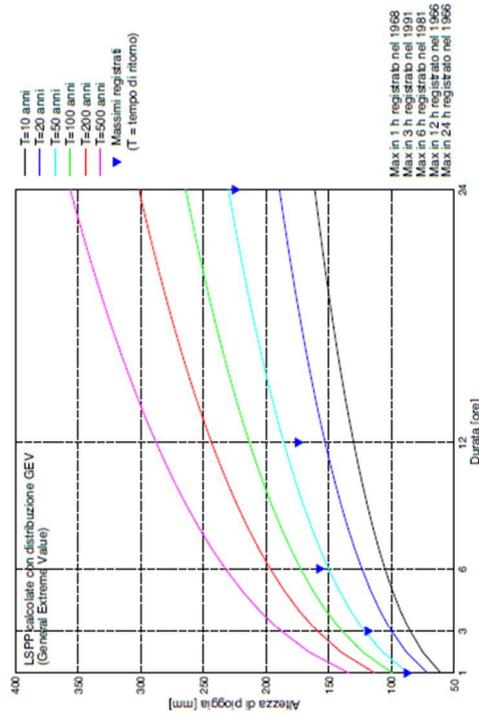
Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Medie mensili di precipitazione e temperatura



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 38 anni)



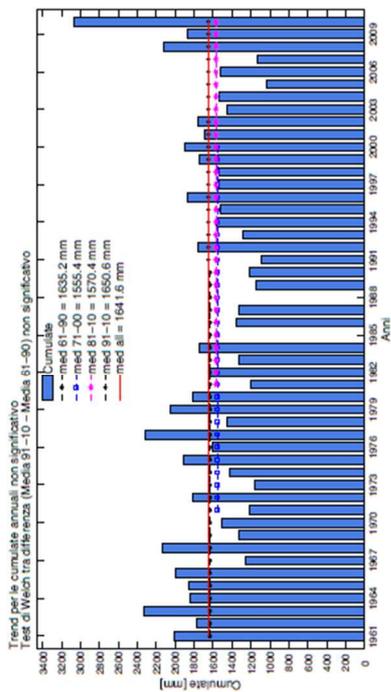
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variable	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2005	2005	2005	2005	2005	2005
Popolazione serie (anni)	38	38	38	38	38	40
Valore (mm)	87,8	119,0	157,6	174,6	225,0	178,4
Anno	1968	1991	1981	1966	1966	1966

FIGURA 3.25 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "MONTALE DI LEVANTO"

CALICE AL CORNOVIGLIO

Cumulate di precipitazione annuali

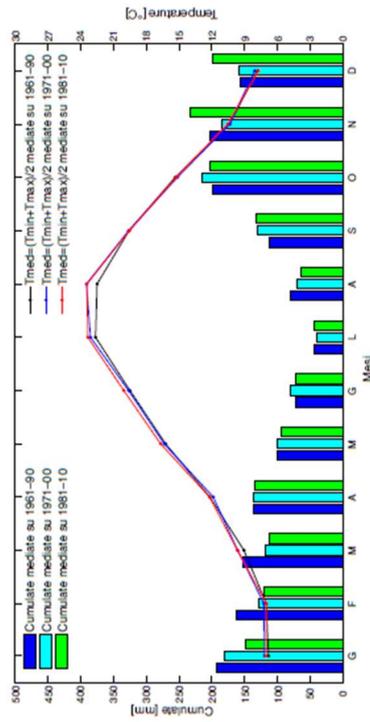


Test di Wilcoxon tra differenza (Media 91-10 - Media 61-90) non significativo

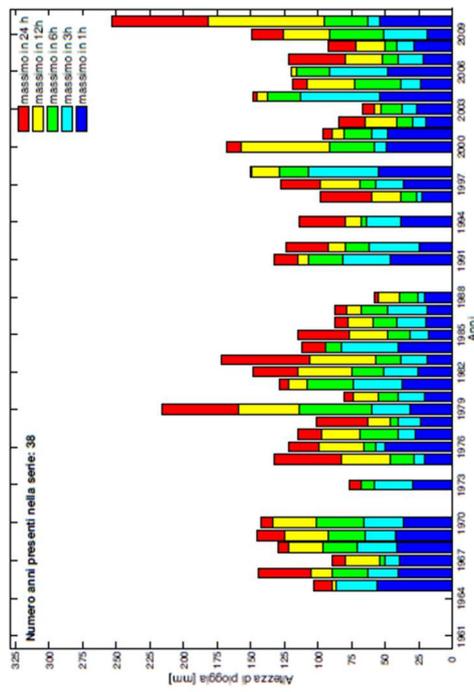
Trend per le cumulate annuali non significativo

anni validi 1961-1990: 28; Anni validi 1971-2000: 28; Anni validi 1991-2010: 20; Anni validi 1961-2010: 48

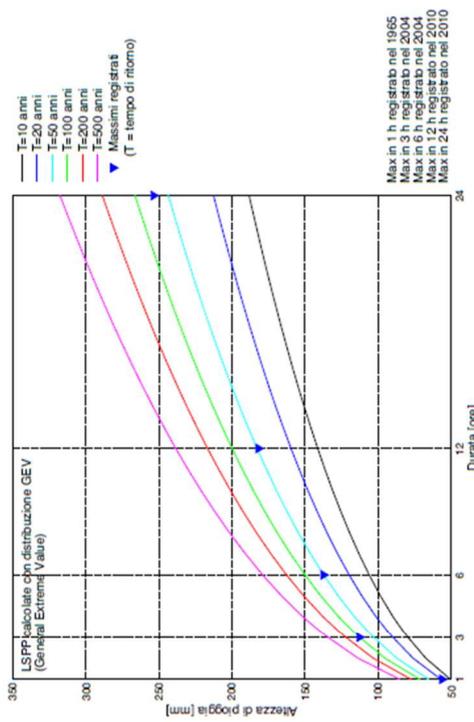
Medie mensili di precipitazione e temperatura



Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 38 anni)



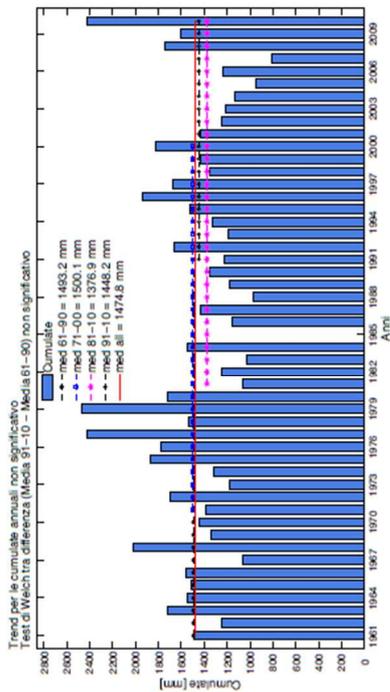
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variable	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1965	1965	1965	1965	1965	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	38	38	38	38	38	48
Valore (mm)	56,2	112,8	137,4	181,8	253,6	226,8
Anno	1965	2004	2004	2010	2010	2010

FIGURA 3.26 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "CALICE AL CORNOVIGLIO"

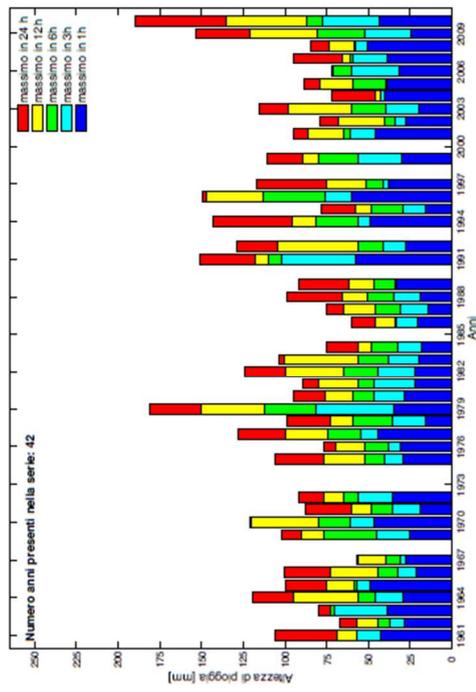
SERÒ DI ZIGNAGO

Cumulate di precipitazione annuali

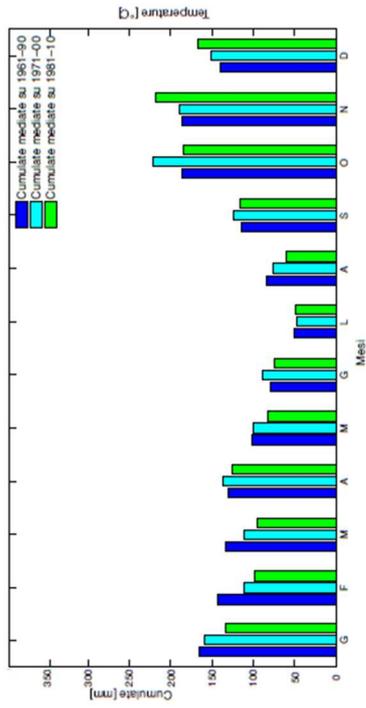


nni validi 1961-1990: 29; Anni validi 1991-2010: 20; Anni validi 1961-2010: 49

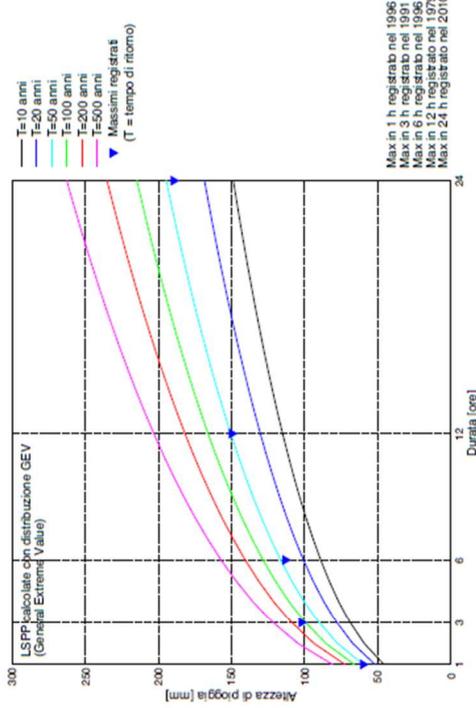
Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Medie mensili di precipitazione e temperatura



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 42 anni)



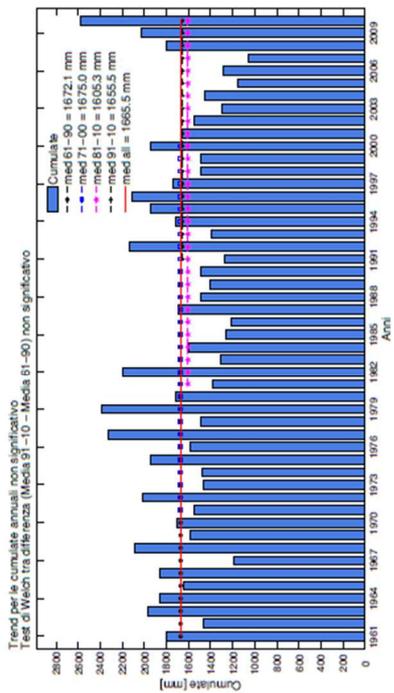
Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

Variabile	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	42	42	42	42	42	49
Valore (mm)	60,0	102,0	113,2	149,8	189,6	161,2
Anno	1996	1991	1996	1979	2010	1979

FIGURA 3.27 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "SERÒ DI ZIGNAGO"

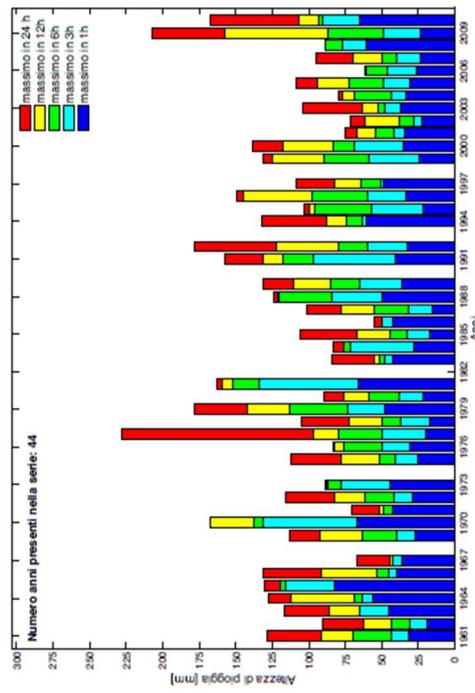
S. MARGHERITA VARA

Cumulate di precipitazione annuali

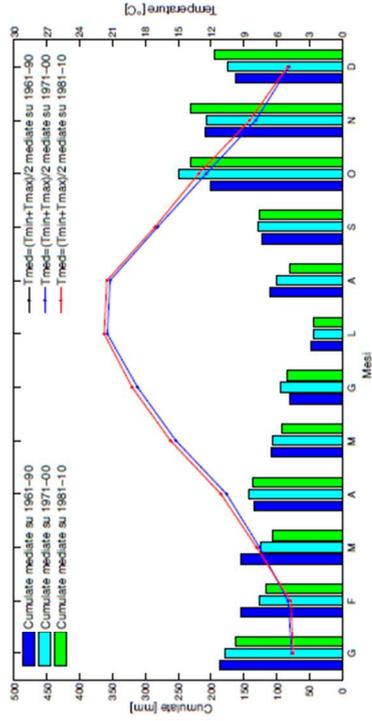


in validi 1961-1990: 30; Anni validi 1971-2000: 30; Anni validi 1981-2010: 30; Anni validi 1991-2010: 20; Anni validi 1961-2010: 50

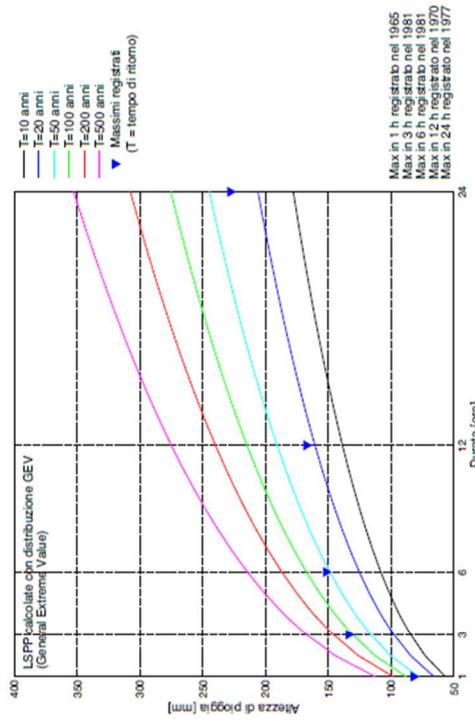
Massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore



Medie mensili di precipitazione e temperatura



Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (numerosità campione: 44 anni)



Estremi di Precipitazione (espressi in mm)

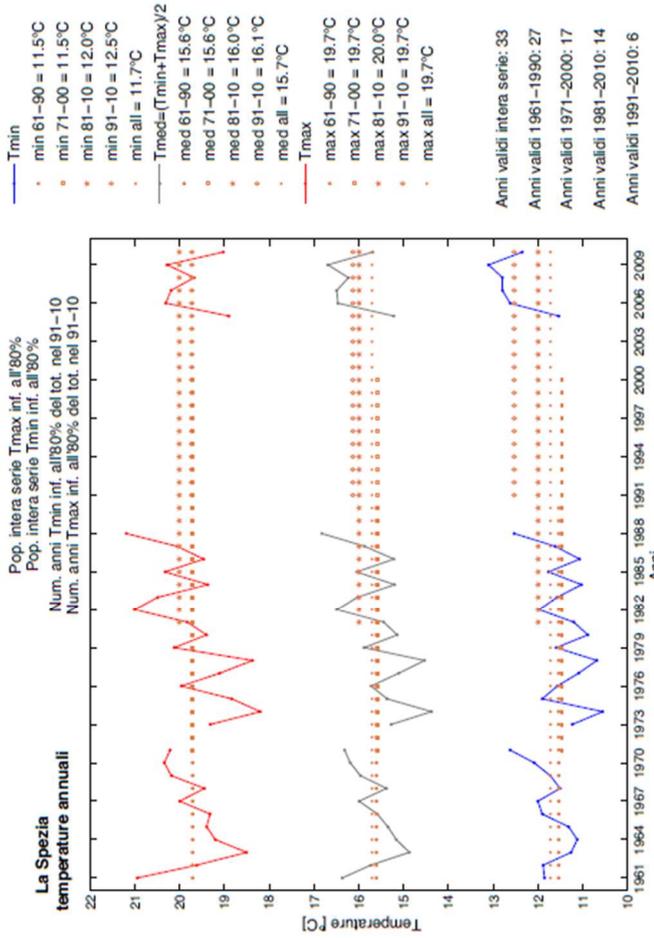
Variabile	max 1h	max 3h	max 6h	max 12h	max 24h	max 9-9
Anno inizio serie	1961	1961	1961	1961	1961	1961
Anno fine serie	2010	2010	2010	2010	2010	2010
Popolazione serie (anni)	44	44	44	44	44	50
Valore (mm)	82,0	133,8	151,8	167,4	228,0	227,0
Anno	1965	1981	1970	1977	1977	1977

FIGURA 3.28 ANALISI PRECIPITAZIONE STAZIONE DI "S. MARGHERITA VARA"

Grafici di temperatura a scala locale

LA SPEZIA

Temperature annuali

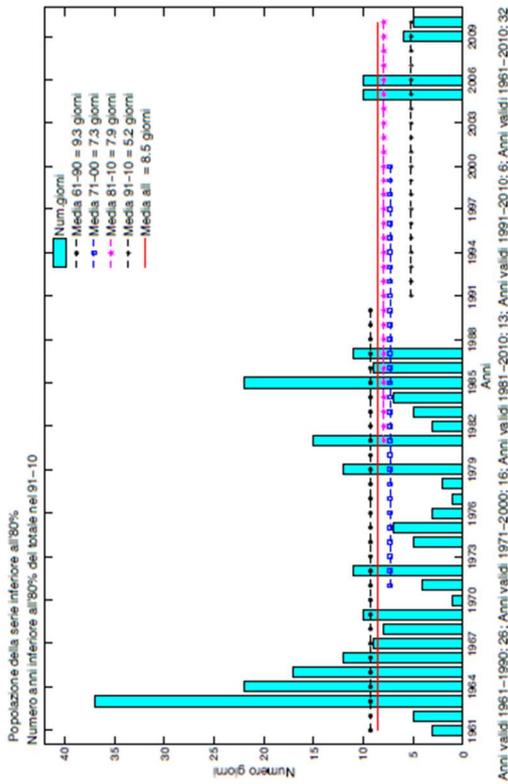


Estremi di Temperatura

Variable	Tmin	Tmax
Anno Inizio Serie	1961	1961
Anno Fine Serie	2010	2010
Popolazione serie (anni)	33	33
Estremi (°C)	Superiore	Superiore
	Inferiore	Inferiore
Data	Superiore	Superiore
	Inferiore	Inferiore

Superiore: 25,9 (23-06-62), 38,4 (18-08-80)
Inferiore: -7,0 (08-01-85), -3,0 (08-01-85)

Numero giorni invernali con Tmin inferiore a 1.0°C (media del 10° percentile Tmin inverno 1961-1990)



Numero giorni estivi con Tmax superiore a 31.8°C (media del 90° percentile Tmax estate 1961-1990)

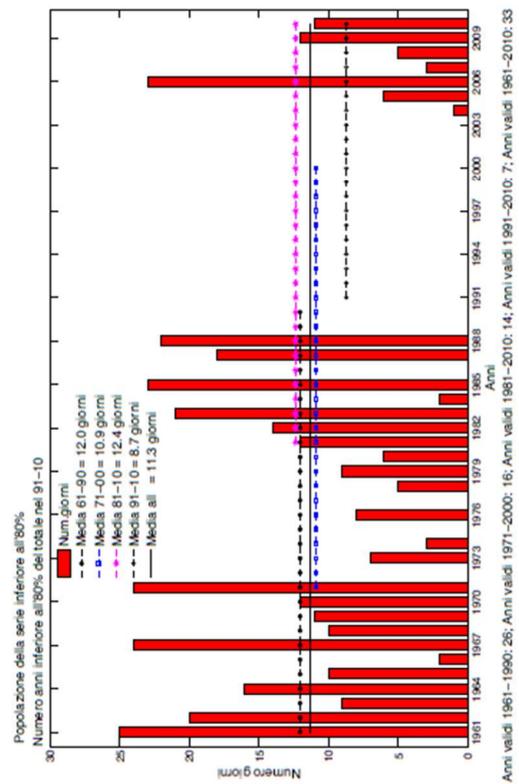
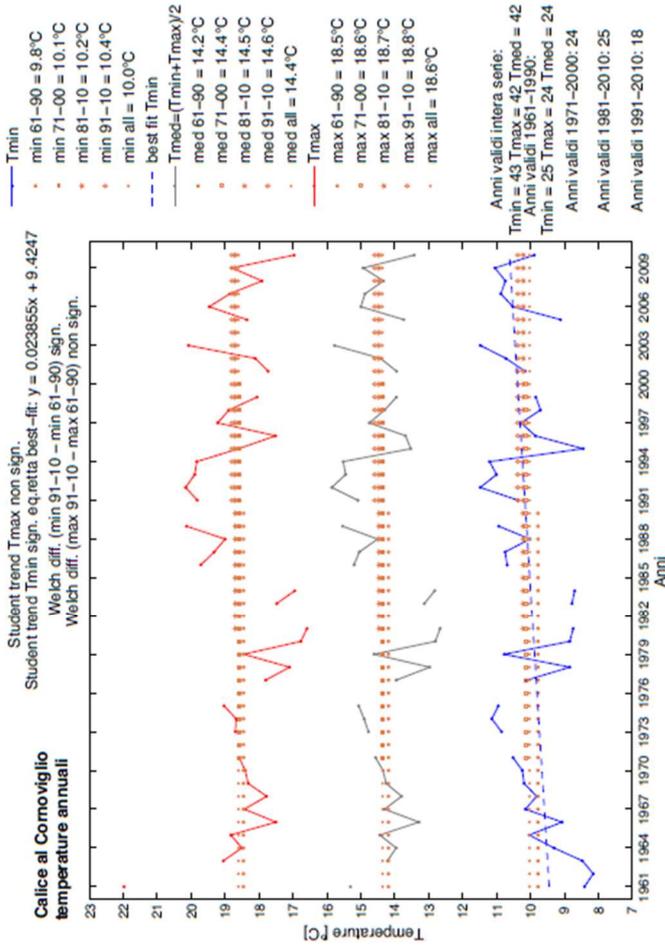


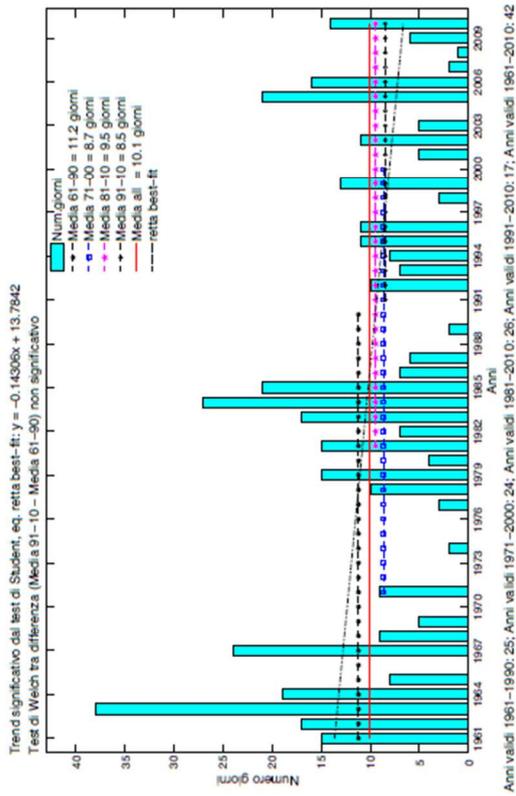
FIGURA 3.29 ANALISI TEMPERATURA STAZIONE DI "LA SPEZIA"

CALICE AL CORNOVIGLIO

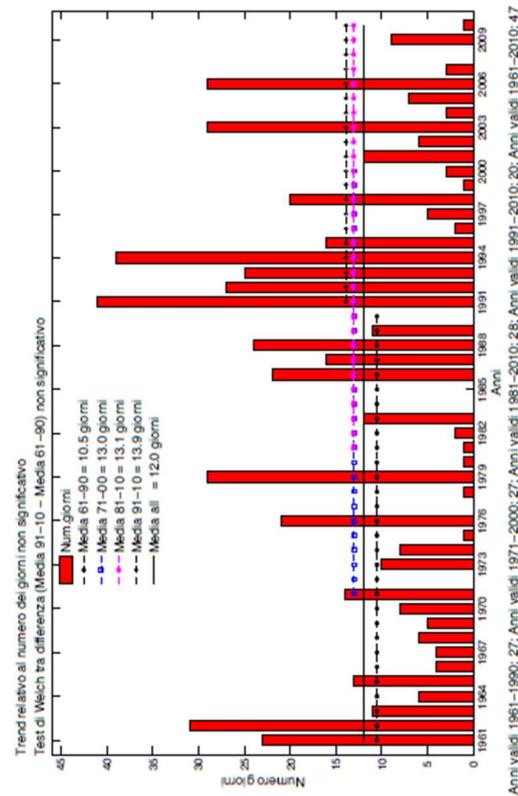
Temperature annuali



Numero giorni invernali con Tmin inferiore a -0.3°C (media del 10° percentile Tmin inverno 1961-1990)



Numero giorni estivi con Tmax superiore a 32.0°C (media del 90° percentile Tmax estate 1961-1990)



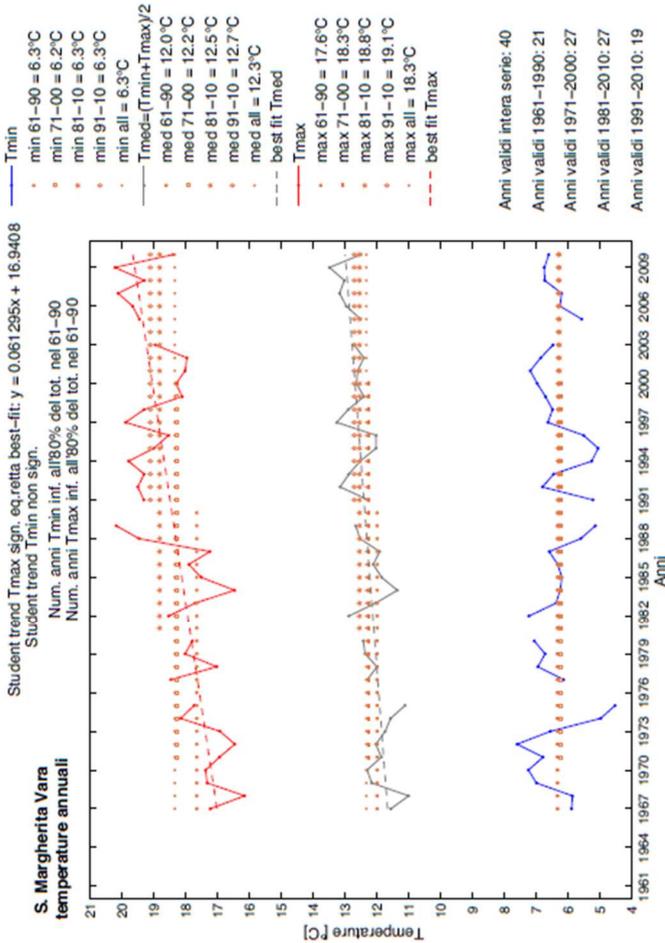
Estremi di Temperatura

Variabile	Tmin	Tmax
Anno Inizio Serie	1961	1961
Anno Fine Serie	2010	2010
Popolazione serie (anni)	43	43
Estremi (°C)	Inferiore	Superiore
	-11,0	27,2
Data	Inferiore	Superiore
	07-01-85	06-08-03
	Inferiore	Superiore
	07-01-85	26-07-83
	Inferiore	Superiore
	08-01-85	31-07-83
	Inferiore	Superiore
	19-08-88	19-08-88

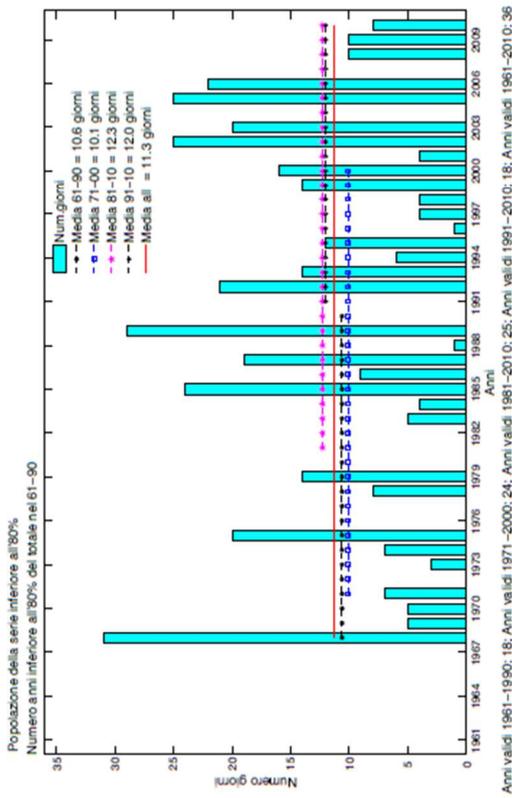
FIGURA 3.30 ANALISI TEMPERATURA STAZIONE DI "CALICE AL CORNOVIGLIO"

S. MARGHERITA VARA

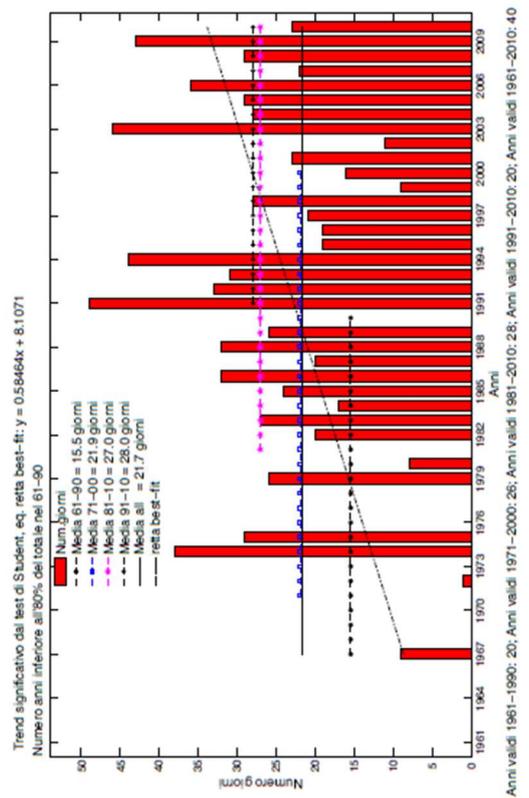
Temperature annuali



Numero giorni invernali con Tmin inferiore a -4.5°C (media del 10° percentile Tmin inverno 1961-1990)



Numero giorni estivi con Tmax superiore a 30.8°C (media del 90° percentile Tmax estate 1961-1990)



Estremi di Temperatura

Variabile	Tmin	Tmax
Anno Inizio Serie	1967	1967
Anno Fine Serie	2010	2010
Popolazione serie (anni)	Inferiore: 40, Superiore: 40	Inferiore: 40, Superiore: 40
Estremi (°C)	Inferiore	Superiore
	-15,0	22,0
	06-01-85	12-07-82
Data	Inferiore	Superiore
	09-01-85	10-07-83
	10-01-85	11-07-83
	Inferiore	Superiore
	07-01-85	21-07-83
		38,0

FIGURA 3.31 ANALISI TEMPERATURA STAZIONE DI "S. MARGHERITA VARA"

3.1.3 Sintesi analisi dati osservati

Di seguito si riportano sinteticamente le considerazioni risultanti dall'analisi delle elaborazioni mostrate nei precedenti paragrafi così come indicati nell'Atlante climatico della Liguria.

Per semplicità e chiarezza le considerazioni sono state riportate separatamente considerando le due scale di analisi.

Scala regionale (Regione Liguria)

Dall'analisi relativa ai campi di precipitazione si conferma chiaramente come il levante della regione risulti molto più piovoso del ponente. Questa caratteristica la si può rilevare non solo a livello di cumulate, bensì anche in termini di un maggior numero di giorni piovosi, di valori più elevati di precipitazione giornaliera, di un minor numero di giorni secchi consecutivi e di un maggior numero di quelli piovosi consecutivi. In linea generale, inoltre, confrontando il trentennio 1981-2010 con il 1961-1990, si possono trarre diverse conclusioni. In autunno, gli ultimi trent'anni dell'intera serie storica sono stati più piovosi rispetto ai primi trenta. Questa caratteristica è riscontrabile in un aumento piuttosto generalizzato delle cumulate, dei giorni piovosi, del numero massimo di giorni piovosi consecutivi e dell'intensità della precipitazione giornaliera (calcolata in base ai soli giorni piovosi), nonché in una diminuzione del numero massimo di giorni secchi consecutivi stagionali. Comportamento contrario lo si ha invece per tutte le altre stagioni e, di conseguenza, anche a livello annuale appare prevalente una situazione più secca negli ultimi trent'anni dal 1981 al 2010 rispetto ai primi trenta dal 1961 al 1990. Per quanto riguarda gli estremi di precipitazione, calcolati secondo la distribuzione GEV, si sono potute fare le seguenti considerazioni relative ai valori massimi di precipitazione in 24 ore associati a tempi di ritorno di 10 e 50 anni. In particolare è stato possibile individuare le aree maggiormente soggette a valori estremi di precipitazione, sia per eventi più frequenti (tempi di ritorno di 10 anni) sia per eventi più rari (tempi di ritorno di 50 anni). In entrambi i casi, il centro della regione, area che coincide quasi esattamente con la provincia di Genova (escludendo la zona del Tigullio e della Val d'Aveto), è la parte maggiormente soggetta agli eventi di precipitazione più intensi.

Per quanto riguarda le temperature si può confermare come il ponente risulti più mite rispetto al levante sia a livello di campi medi sia a livello di campi estremi. Le differenze più marcate in termini di escursione termica non sono riscontrabili tra ponente e levante quanto piuttosto tra aree interne e aree costiere. Queste ultime, risentendo maggiormente dell'inerzia termica del mare, presentano un campo termico con differenze minori tra temperature minime e massime, mentre le zone interne presentano valori di escursione termica generalmente maggiori. Confrontando il trentennio 1981-2010 con il 1961-1990 è stato possibile riscontrare prevalenti aumenti delle temperature, sia nei campi medi sia nei campi estremi; va tuttavia tenuto presente che il numero di stazioni a disposizione è risultato purtroppo piuttosto scarso. Per quanto riguarda la variazione temporale dell'escursione termica non è stato possibile trarre conclusioni di carattere generale, in quanto in alcuni siti tale parametro è aumentato, ma in altri con uguale numerosità è risultato in diminuzione.

Scala locale (Comune della Spezia)

Le analisi relative alle serie di precipitazione mostrate dalla Figura 3.22 alla Figura 3.28 evidenziano che la maggior parte delle stazioni, ad eccezione delle stazioni "La Spezia" (Figura 3.22) e "Montale di Levante" (Figura 3.25), coprono adeguatamente i periodi di analisi. Non sempre è stato possibile trarre conclusioni statisticamente significative, tuttavia è stato possibile fare alcune osservazioni. I massimi delle precipitazioni medie annuali con valori variabili da circa 1500 a 1600 mm/anno si osservano nell'entroterra in corrispondenza delle stazioni "S. Margherita Vara" (Figura 3.28), "Serò di Zignago" (Figura 3.27) e "Calice al Cornoviglio" (Figura 3.30). Le precipitazioni medie annuali più basse con valori circa uguali a 1000 mm/anno, si osservano in prossimità della costa a bassa quota, in corrispondenza delle stazioni "La Spezia" (Figura 3.22) e "Levanto" (Figura 3.24). I valori di precipitazione media annuale nel periodo 1981-2010 sono risultati quasi sempre minori di quelli misurati negli altri periodi ed in particolare di quelli dell'ultimo ventennio dal 1991-2010, sottolineando che il decennio 1981-1990 è stato più secco degli altri considerati nell'analisi. Solo in alcuni casi le precipitazioni medie annuali nell'ultimo periodo 1991-2010 sono risultate le più alte di tutte altre nei periodi precedenti, come nel caso delle stazioni "Sarzana" (Figura 3.23) e "Calice al Cornoviglio" (Figura 3.30). Dall'analisi dei grafici dei massimi annuali di precipitazione e delle tabelle degli estremi per le stazioni selezionate non si può evincere alcun trend temporale significativo. Dal confronto degli estremi misurati nelle stazioni e delle relative linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) emerge che: (i) i tempi di ritorno associati agli estremi per le durate più lunghe (12 e 24 ore) sono in genere compresi tra i 20 e i 50 anni, (ii) i tempi di ritorno associati agli estremi per le durate di 3 e 6 ore possono anche essere maggiori fino a 100 anni, (iii) i tempi di ritorno calcolati per gli estremi misurati nel 1981 a "Levanto" (Figura 3.24) sono i più alti di tutti (tali valori dei tempi di ritorno superiori ai 100 anni sono da intendersi solo come indice di rarità degli eventi, visto che le LSPP sono state derivate da serie storiche di durata al massimo cinquantennale). Dall'analisi dei trend temporali delle precipitazioni medie mensili misurate nei periodi 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2011 nelle stazioni "Sarzana" (Figura 3.23), "Levanto" (Figura 3.24), "Calice al Cornoviglio" (Figura 3.30), "Serò di Zignago" (Figura 3.27) e "S. Margherita Vara" (Figura 3.28) si osserva: (i) una diminuzione delle precipitazioni mensili nei periodi tardo invernale-primaverile, (ii) un aumento delle precipitazioni mensili nei periodo autunnale-primoinvernale, (iii) una stabilità delle precipitazioni mensili nel periodo estivo. Tali indici anche se non omogeneamente per tutte le stazioni, concorrono ad evidenziare un aumento delle precipitazioni nel periodo autunnale e una diminuzione di esse nel periodo primaverile.

Le analisi relative alle serie di temperatura mostrate dalla Figura 3.29 alla Figura 3.31 evidenziano che la stazione "La Spezia" nel periodo 1991-2010 ha un numero di misure parziali ed inferiori all'80% del totale, pertanto per essa non è stato possibile trarre conclusioni significative. Nelle altre stazioni è stato possibile osservare anche se con livelli di significatività differente che: (i) il numero di giorni invernali con Tmin inferiore al 10° percentile del periodo climatico estivo di riferimento 1961-1990 è in diminuzione; (ii) il numero di giorni estivi con Tmax superiore al 90° percentile del periodo climatico invernale di riferimento 1961-1990 è in aumento; (iii) i valori di Tmin nella stazione "Calice al Cornoviglio" (Figura 3.30) sono significativamente in aumento; (iv) i valori di Tmax nella stazione "S. Margherita Vara" (Figura 3.31) sono significativamente in aumento. Tali indici anche se non omogeneamente per tutte le stazioni concorrono ad evidenziare un aumento della temperatura nel territorio comunale e in prossimità di esso.

3.2 Scenari di cambiamento climatico

Per caratterizzare la variabilità climatica attesa nel territorio generale sono state considerate prioritariamente (i) le informazioni e le proiezioni a scala europea (§3.2.1) riportate nel 5° Rapporto di Valutazione (Ar5) elaborato dall'IPCC Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (Field et al., 2014) e (ii) le informazioni e le proiezioni a scala nazionale (§3.2.2) presenti nella letteratura scientifica (Bucchignani et al., 2016; Zollo et al., 2016) elaborate dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC). Da tali informazioni sono stati poi estrapolati e sintetizzati gli scenari e le proiezioni per vari indici climatici a scala comunale (§3.2.3).

3.2.1 Proiezioni a scala europea

L'IPCC suddivide l'area europea in cinque sotto-regioni (Figura 3.32): Atlantic, Alpine, Southern, Northern, and Continental (Field et al., 2014). Tali sotto-regioni sono state derivate aggregando le zone climatiche sviluppate da Metzger et al., 2005.

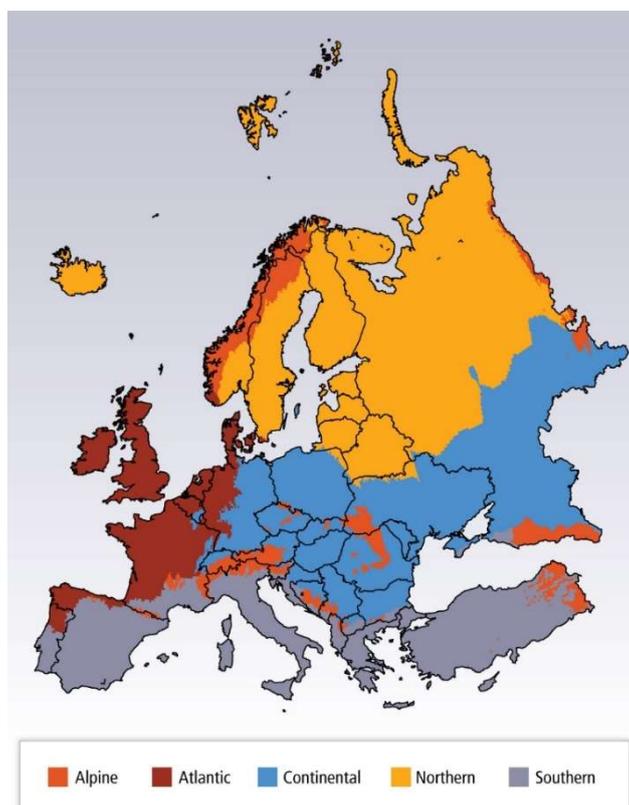


FIGURA 3.32 CLASSIFICAZIONE SUB-REGIONALE DELLE REGIONI EUROPEE DELL'IPCC

Le valutazioni sull'impatto climatico e lo sviluppo di strategie di adattamento regionali a scala locale richiedono la disponibilità di scenari ad alta risoluzione sui cambiamenti climatici, comprendenti una valutazione della loro robustezza e delle loro incertezze intrinseche (Jacob et al., 2014). Il WCRP Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX, <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>; Giorgi et al. 2006) fornisce un quadro coordinato a livello internazionale per migliorare gli scenari climatici regionali. Ciò include l'armonizzazione delle attività di valutazione dei modelli nei singoli centri di modellizzazione e la generazione di "ensemble" multi-modello di proiezioni climatiche regionali per tutto il mondo. Nell'ambito dell'iniziativa

globale CORDEX, l'iniziativa EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>) fornisce proiezioni climatiche regionali per l'Europa con una risoluzione di 50 km (EUR-44) e 12,5 km (EUR-11). Le simulazioni regionali sono dei *downscaling* delle nuove proiezioni climatiche globali prodotte nell'ambito del progetto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (Taylor et al., 2012) e delle nuove "Representative Concentration Pathways" (RCP) (Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011). EURO-CORDEX è costituito da ventisei gruppi di modellizzazione che contribuiscono a 11 diversi modelli climatici regionali. Nella sua fase iniziale, EURO-CORDEX si è concentrato principalmente sulla valutazione del modello nel clima attuale (Kotlarski et al., 2014; Vautard et al., 2013). Finora sono state condotte oltre 30 simulazioni di valutazione. Ulteriori attività comprendono l'analisi coordinata delle future simulazioni climatiche, l'analisi congiunta di metodi dinamici ed empirico-statistici e la progettazione di adeguate tecniche di correzione diagonale per adattare i dati EURO-CORDEX per un'applicazione diretta alla ricerca sull'impatto climatico. Particolare enfasi è stata posta sulla costruzione di una matrice di simulazioni per coprire nel miglior modo possibile l'incertezza negli scenari di emissione, il modello climatico globale trainante e il metodo di *downscaling*.

Nel seguito sono mostrati i risultati delle simulazioni delle previsioni climatiche ad alta risoluzione EURO-CORDEX (EUR-11) e come termine di paragone i risultati ottenuti dalle proiezioni climatiche regionali del progetto FP6 ENSEMBLES (Hewitt, 2004; Van der Linden and Mitchell, 2009). Diversi di modelli regionali sono stati utilizzati per fare il *downscaling* delle proiezioni climatiche globali transitorie in Europa con una risoluzione di 25 e 50 km nella seconda metà del XX secolo e nel ventunesimo secolo. Le proiezioni climatiche di ENSEMBLES sono state condotte secondo le ipotesi dello Special Report on Emission Scenario (SRES) scenario A1B (Nakicenovic et al., 2000). Questo scenario assume una rapida crescita economica e uno sviluppo di tecnologie, con una popolazione mondiale che raggiunge il picco nella metà del XXI secolo e un uso equilibrato delle risorse energetiche. Esso prevede inoltre un rapido aumento delle emissioni di CO₂ fossile fino al 2050 e una diminuzione in seguito. Le simulazioni di scenario EURO-CORDEX utilizzano invece i nuovi "Representative Concentration Pathways" (RCP) definiti per il quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (Moss et al., 2010). In contrasto con gli scenari SRES, gli scenari RCP non specificano scenari socioeconomici, entrambi considerano possibili emissioni di gas serra (GHG, Green House Gases) ma assumono differenti percorsi verso diversi valori target di forzante radiativo alla fine del 21° secolo. Ad esempio, lo scenario RCP8.5 ipotizza un aumento del forzante radiativo di 8,5 W/m² entro la fine del secolo rispetto alle condizioni preindustriali. Un confronto tra gli effetti climatici degli scenari SRES e RCP (Rogelj et al., 2012) mostra per lo scenario A1B un aumento della temperatura media globale nel range probabile di 2,8-4,2 ° C, che si avvicina alle previsioni di RCP6 e si trova tra le previsioni di RCP4 .5 e di RCP8.5.

Nel seguito sono mostrati i set di dati ad alta risoluzione (12,5 km) da un insieme di "ensemble" multiscenario di simulazioni climatiche regionali per la ricerca di impatto così come riportati dalla letteratura scientifica (Jacob et al., 2014). Tale risoluzione risulta molto alta comparata a quella raggiunta nelle precedenti proiezioni di modelli climatici come nel caso di quelle sviluppate nell'ambito del progetto ENSEMBLES che ha coperto le simulazioni RCM per l'Europa con una risoluzione massima di 25 km, o di quelle sviluppate in PRUDENCE con simulazioni effettuate con una risoluzione di 50 km. Le analisi riportate nelle figure e nelle tabelle di questa sezione descrivono i cambiamenti climatici regionali in Europa, con particolare riferimento alle differenze di variazione media della temperatura media annuale e delle precipitazioni totali per gli scenari A1B, RCP4.5 e RCP8.5. Oltre ai valori medi, per le sotto-regioni dell'Europa, sono mostrati una serie di indici climatici importanti per gli studi sull'impatto climatico in diversi settori, tra cui: eventi di precipitazioni intense, periodi di siccità e ondate di calore.

La significatività e la robustezza dei modelli sopra riportati, sono state testate utilizzando una specifica metodologia. Partendo da un insieme di simulazioni sui cambiamenti climatici, sono state identificate le regioni con cambiamenti climatici relativamente forti e robusti. La robustezza delle informazioni fornite dall'insieme delle proiezioni climatiche è stata analizzata utilizzando due test statistici. Il primo test riguarda l'accordo delle simulazioni in termini di direzione delle variazioni. Nel secondo test, la significatività delle variazioni previste in ciascuna simulazione viene valutata applicando il test di Mann-Whitney-Wilcoxon. Solo le regioni che superano entrambi i test, sono identificate come regioni con robuste variazioni previste.

TABELLA 3-4 CORRELAZIONE SPAZIALE DEGLI SCENARI DI EMISSIONE SRES A1B E RCP8.5 PER LE VARIAZIONI DI TEMPERATURA MEDIA ANNUA E DI PRECIPITAZIONE TOTALE ANNUA NELLE SOTTO-REGIONI EUROPEE IPCC PER I PERIODI DI TEMPO 2021-2050 E 2071-2100.

Spatial correlation of RCP8.5 and SRES A1B	Climate parameter			
	Mean annual temperature		Annual total precipitation	
	2021-2050	2071-2100	2021-2050	2071-2100
Alpine	0.88	0.95	0.92	0.94
Atlantic	0.82	0.98	0.87	0.94
Continental	0.94	0.96	0.72	0.92
Northern	0.97	0.97	0.59	0.81
Southern	0.90	0.89	0.71	0.96

TABELLA 3-5 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI DEI PARAMETRI CLIMATICI PER IL PERIODO 2071-2100 RISPETTO AL 1971-2000 PER LE SOTTO-REGIONI EUROPEE IPCC PER LO SCENARIO A1B

Scenario A1B	Climate parameters	Measure	Alpine	Atlantic	Continental	Northern	Southern
2071-2100 minus 1971-2000	Mean annual Temperature in K**	Median	3.4	2.5	3.3	3.8	3.6
		Min	2.8	1.9	2.1	3.2	2.3
		Likely in the range	3.1-4.5	2.1-3.5	2.8-4.5	3.5-5.0	3.3-4.1
		Max	5.4	4.7	5.7	5.8	5.5
	Frost days (1) per year*	Median	-50	-24	-44	-54	-24
		Min	-37	-13	-26	-38	-12
		Likely in the range	-38 to -57	-15 to -34	-27 to -53	-40 to -55	-12 to -31
		Max	-72	-39	-56	-71	-34
	Summer days (2) per year*	Median	14	21	32	7	48
		Min	4	9	21	3	33
		Likely in the range	11-20	16-32	22-41	5-14	33-51
		Max	21	34	43	27	51
	Tropical nights (4) per year*	Median	3	8	21	4	47
		Min	1	2	14	1	18
		Likely in the range	2-9	6-17	16-35	1-7	35-52
		Max	11	32	43	10	60
	Growing season length (5) days per growing season**	Median	47	41	52	41	36
		Min	27	23	20	25	14
		Likely in the range	34-56	33-51	33-62	27-46	27-41
		Max	75	55	81	61	51
	Warm spell duration index (14) days per year*	Median	57	44	42	67	91
		Min	46	29	26	37	67
		Likely in the range	51-84	35-72	37-69	47-96	85-112
		Max	126	125	94	119	144
	Cold spell duration index (15) days per year*	Median	-5	-5	-6	-6	-5
		Min	-4	-4	-4	-5	-3
		Likely in the range	-4 to -5	-4 to -6	-5 to -6	-5 to -8	-4 to -5
		Max	-8	-9	-9	-9	-8
Annual total precipitation (27) in %**	Median	7	3	3	16	-15	
	Min	1	9	-9	4	-7	
	Likely in the range	5-12	-4 to 5	-1 to 5	13-21	-12 to -18	
	Max	15	-11	12	29	-25	
Annual total precipitation where RR > 99p of 1971/2000 (26) in %**	Median	57	65	53	64	43	
	Min	35	28	31	32	21	
	Likely in the range	47-68	42-98	44-77	47-88	35-57	
	Max	117	112	110	105	74	

TABELLA 3-6 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI DEI PARAMETRI CLIMATICI PER IL 2071-2100 RISPETTO AL 1971-2000 PER LE SOTTO-REGIONI EUROPEE IPCC PER GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5

Scenarios	Climate parameters	Measure	Alpine		Atlantic		Continental		Northern		Southern	
			RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
			2071-2100 minus 1971-2000									
Mean annual temperature in K	Median	2.4	4.6	1.7	3.2	2.1	4.1	2.9	5.2	2.0	4.2	
	Min	1,8	3,8	1,3	2,5	1,6	3,6	2,0	4,1	1,9	3,8	
	Likely in the range	1.9-3.4	3.9-6.0	1.4-2.1	2.7-3.6	1.6-3.2	3.7-5.2	2.0-4.2	4.1-6.2	1.9-2.7	3.9-5.4	
	Max	3.6	6.3	2.9	4.2	3.2	5.3	4.3	6.5	3.2	5.7	
	Frost days (1) per year	Median	-40	-70	-28	-40	-34	-62	-40	-68	-22	-43
		Min	-25	-55	-12	-21	-16	-46	-24	-58	-10	-22
		Likely in the range	-26 to -41	-57 to -85	-15 to -30	-26 to -50	-18 to -40	-50 to -65	-26 to -43	-60 to -83	-11 to -30	-23 to -51
		Max	-47	-93	-33	-60	-41	-73	-52	-93	-31	-51
	Summer days (2) per year	Median	8	19	11	24	20	37	4	13	27	54
		Min	3	10	6	17	11	27	2	5	21	43
		Likely in the range	4-14	12-24	6-14	22-28	13-24	30-46	2-16	6-22	25-33	46-60
		Max	18	25	33	38	28	49	23	28	37	67
Tropical nights (4) per year	Median	1	4	3	7	9	22	1	1	20	45	
	Min	0	1	0	3	2	11	0	0	7	23	
	Likely in the range	1-3	2-5	1-5	3-12	9-27	17-31	0-5	1-3	11-24	25-57	
	Max	8	6	18	17	30	37	7	13	41	58	
Growing season length (5) days per growing season	Median	31	61	39	58	26	58	23	55	27	49	
	Min	23	52	24	41	17	52	17	37	16	34	
	Likely in the range	23-39	52-83	27-43	47-68	20-38	53-71	19-33	41-60	17-33	38-53	
	Max	45	95	45	75	41	75	42	78	38	58	
Warm spell duration index (14) days per year	Median	34	96	20	65	23	73	35	82	34	124	
	Min	26	73	17	46	16	52	22	64	28	90	
	Likely in the range	29-55	77-136	20-31	49-87	18-42	58-93	23-42	75-113	32-69	98-177	
	Max	69	162	55	102	54	106	63	130	83	186	
Cold spell duration index (15) days per year	Median	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-7	-6	-5	-5	
	Min	-3	-3	-2	-4	-3	-5	-4	-4	-3	-4	
	Likely in the range	-4 to -7	-4 to -6	-3 to -6	-4 to -5	-4 to -7	-5 to -8	-6 to -8	-5 to -7	-3 to -5	-4 to -5	
	Max	-7	-6	-6	-6	-7	-6	-8	-8	-6	-6	
Annual total precipitation (27) in %	Median	5	14	1	4	9	10	10	22	-6	-10	
	Min	3	5	-1	-2	0	0	7	18	-11	0	
	Likely in the range	4-8	7-16	-1 to 7	2-9	1-13	4-19	8-17	19-32	-10 to 0	-21 to -2	
	Max	12	18	9	9	16	29	22	34	2	-27	
Annual total precipitation where RR > 99p of 1971/2000 (26) in %	Median	38	79	36	71	44	65	43	82	36	49	
	Min	24	41	20	48	17	37	27	64	23	30	
	Likely in the range	25-60	44-105	25-70	49-105	33-60	44-75	28-65	66-110	31-57	38-58	
	Max	73	119	73	118	73	106	70	120	62	65	

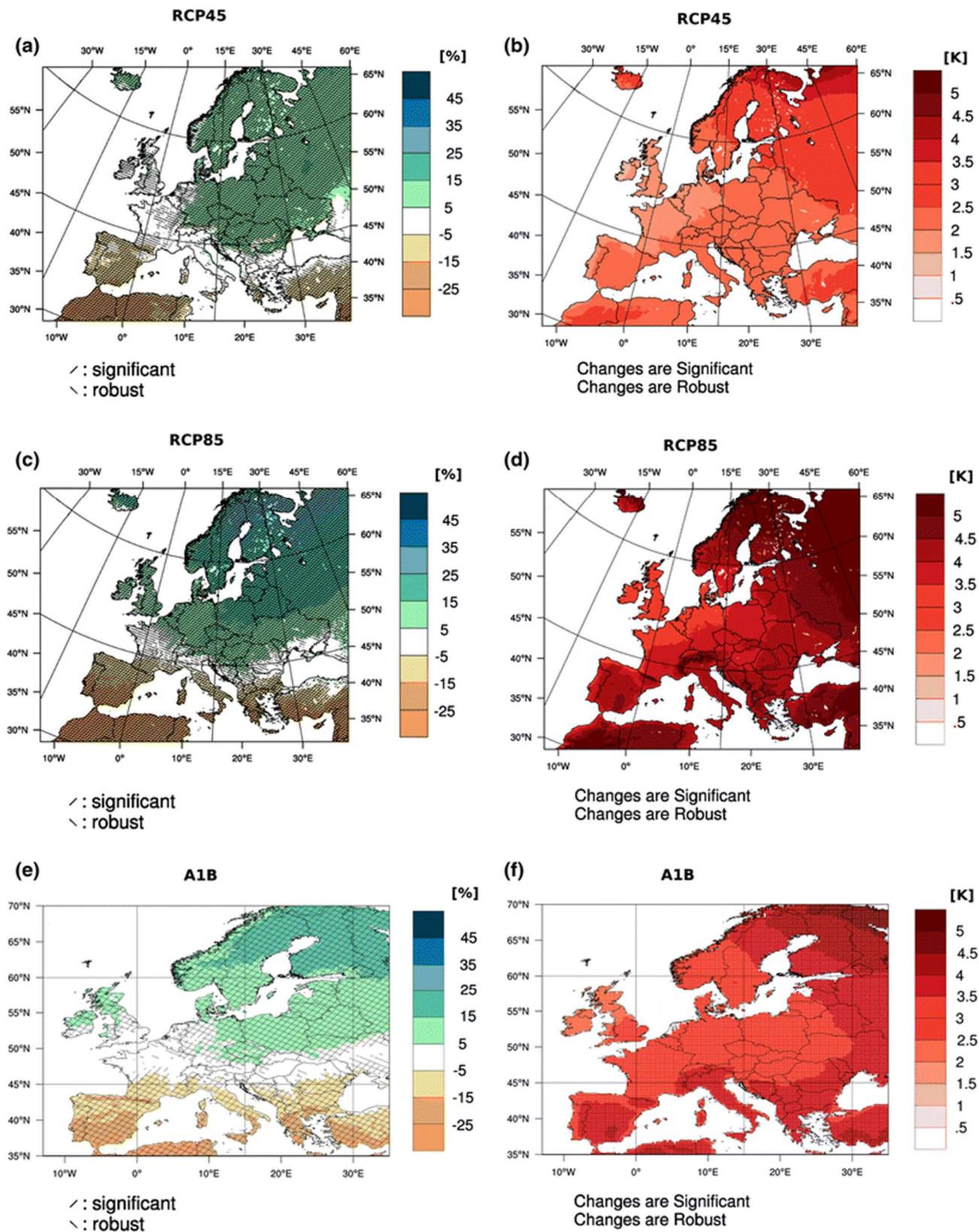


FIGURA 3.33 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE ANNUA (%) (SINISTRA) E DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA [K] (DESTRA) PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 PER I DIFFERENTI SCENARI A1B (E, F), RCP8.5 (C, D) E RCP4.5 (A, B). LE AREE EVIDENZIATE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI DI PRECIPITAZIONE STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI (A, C, E). I CAMBIAMENTI DELLA TEMPERATURA SONO ROBUSTI E SIGNIFICATIVI LUNGO TUTTO L'INTERO CONTINENTE EUROPEO (B, D, F) (JACOB ET AL., 2014).

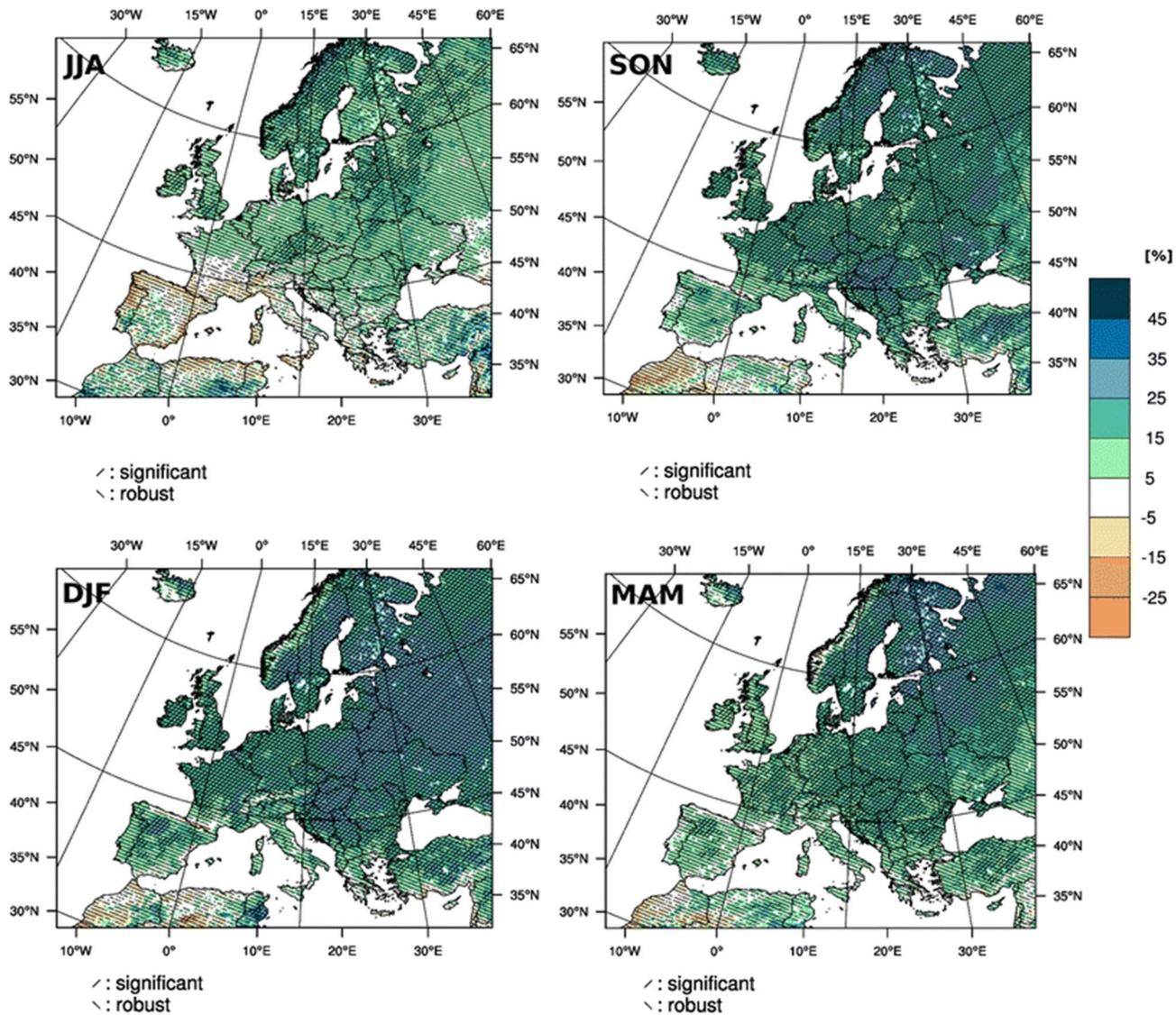


FIGURA 3.34 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI STAGIONALI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE (%) BASATE SULLO SCENARIO RCP8.5 PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000. LE AREE EVIDENZIATE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI.

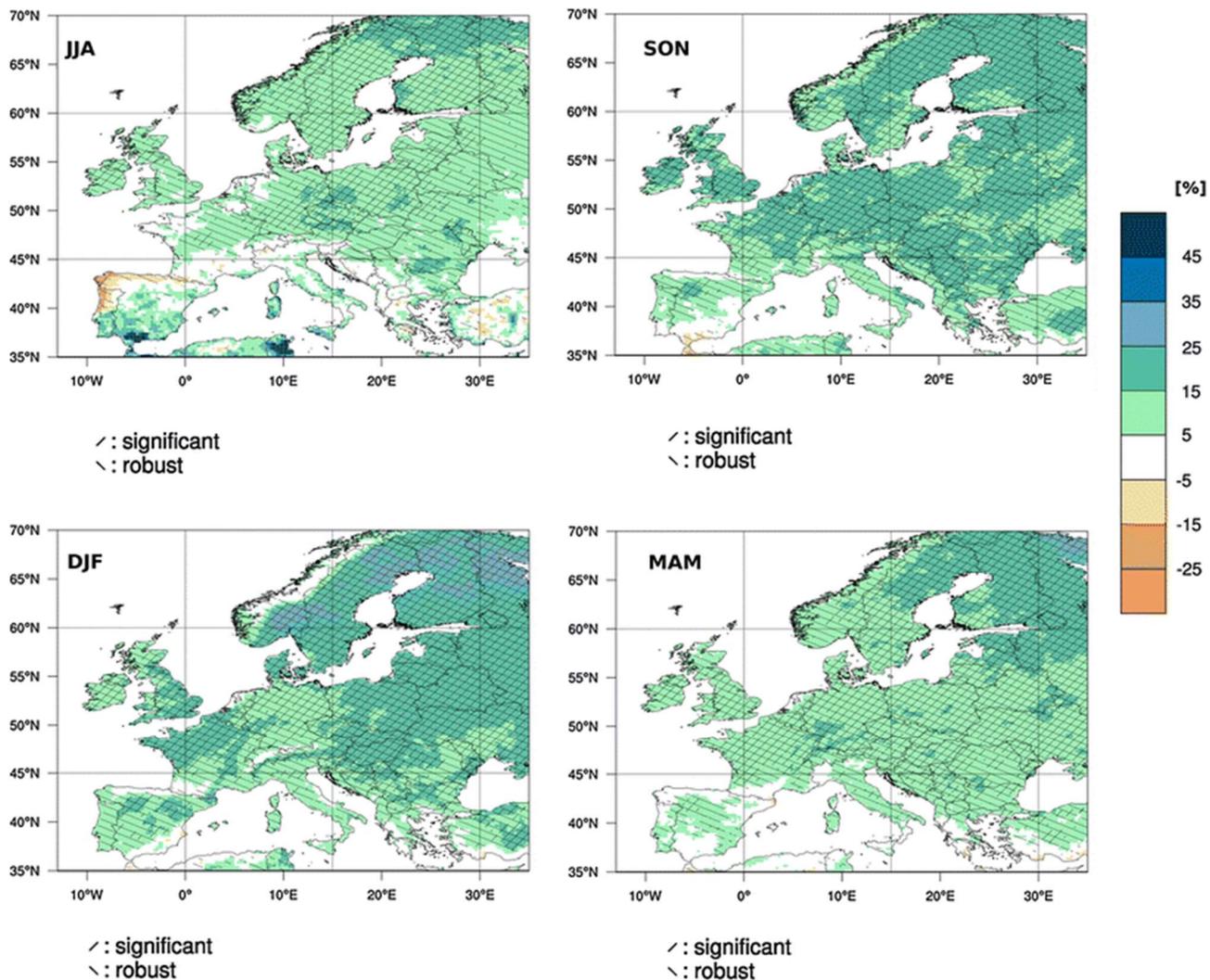


FIGURA 3.35 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI STAGIONALI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE (%) BASATE SULLO SCENARIO A1B PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000. LE AREE EVIDENZIATE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI

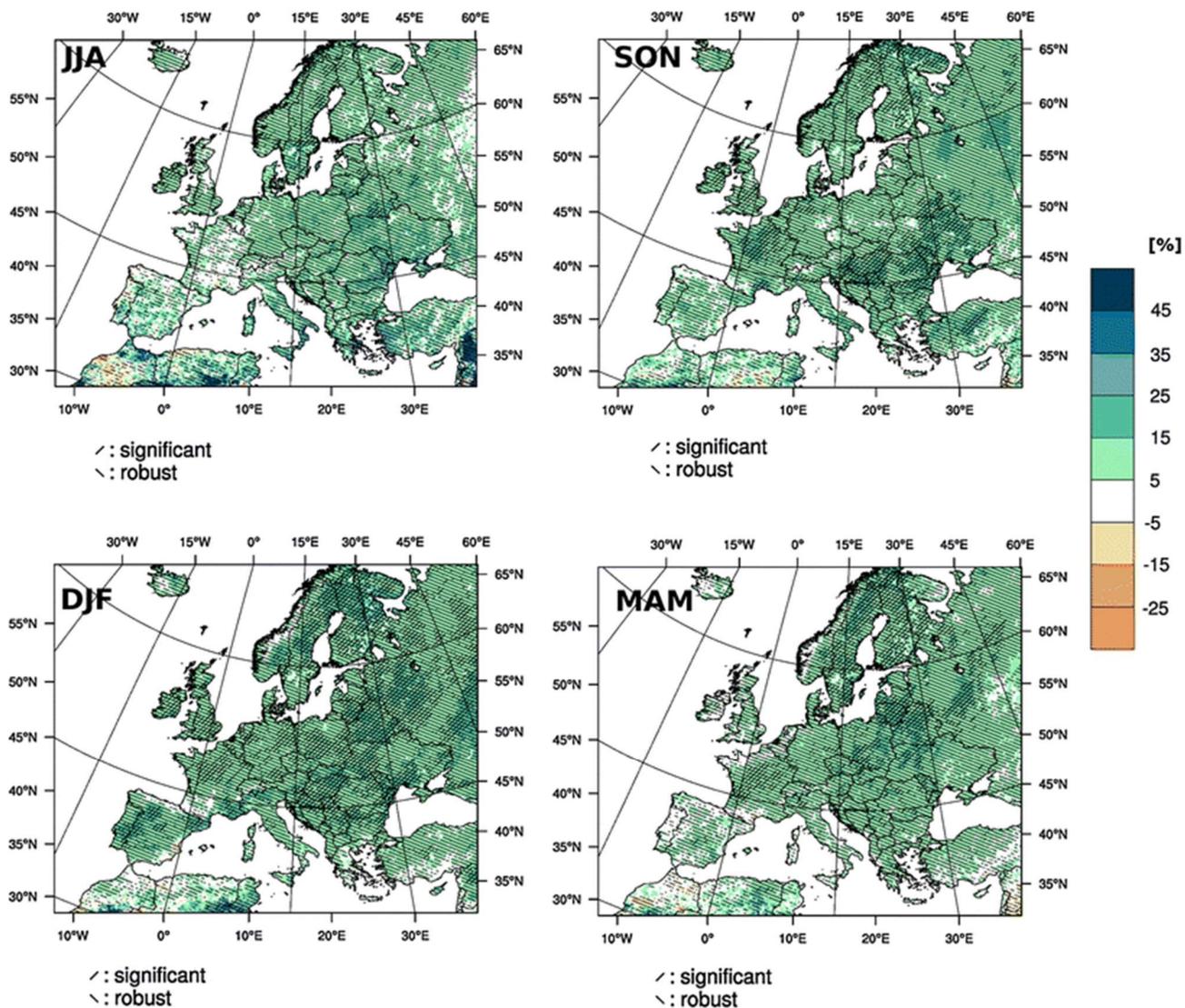


FIGURA 3.36 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI STAGIONALI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE (%) BASATE SULLO SCENARIO RCP4.5 PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000. LE AREE EVIDENZIATE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI

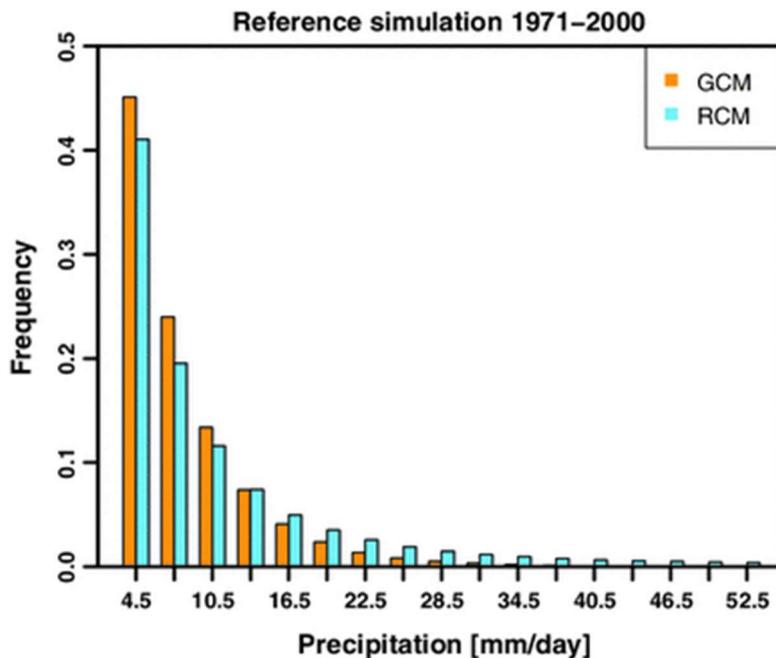


FIGURA 3.37 FREQUENZE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA GIORNALIERA DI UN INSIEME DI CINQUE SIMULAZIONI GCM E DELLE CORRISPONDENTI RCMS PER IL PERIODO DI RIFERIMENTO 1971-2000 ALL'INTERNO DI UNA REGIONE CENTRALE DEL DOMINIO EURO-CORDEX (45°N-50°N AND 2°E-17°E).

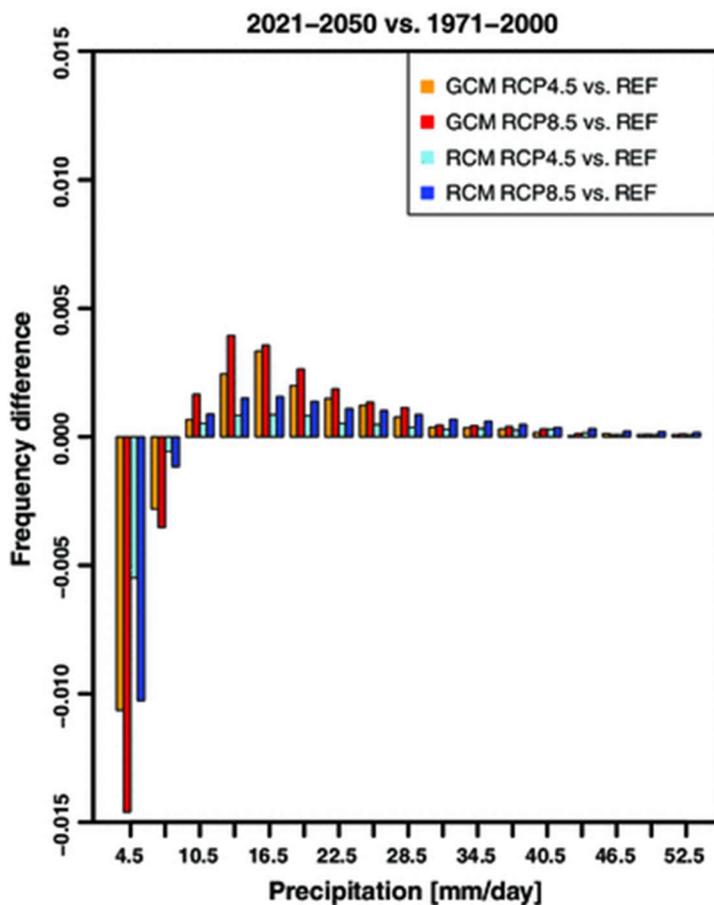


FIGURA 3.38 VARIAZIONI TEMPORALI DELLE FREQUENZE DI PRECIPITAZIONE COMPRESSE FRA IL 2021-2050 ED IL PERIODO DI RIFERIMENTO 1971-2000 PER RCP4.5 E RCP8.5 DERIVATE DA GCM E RCM

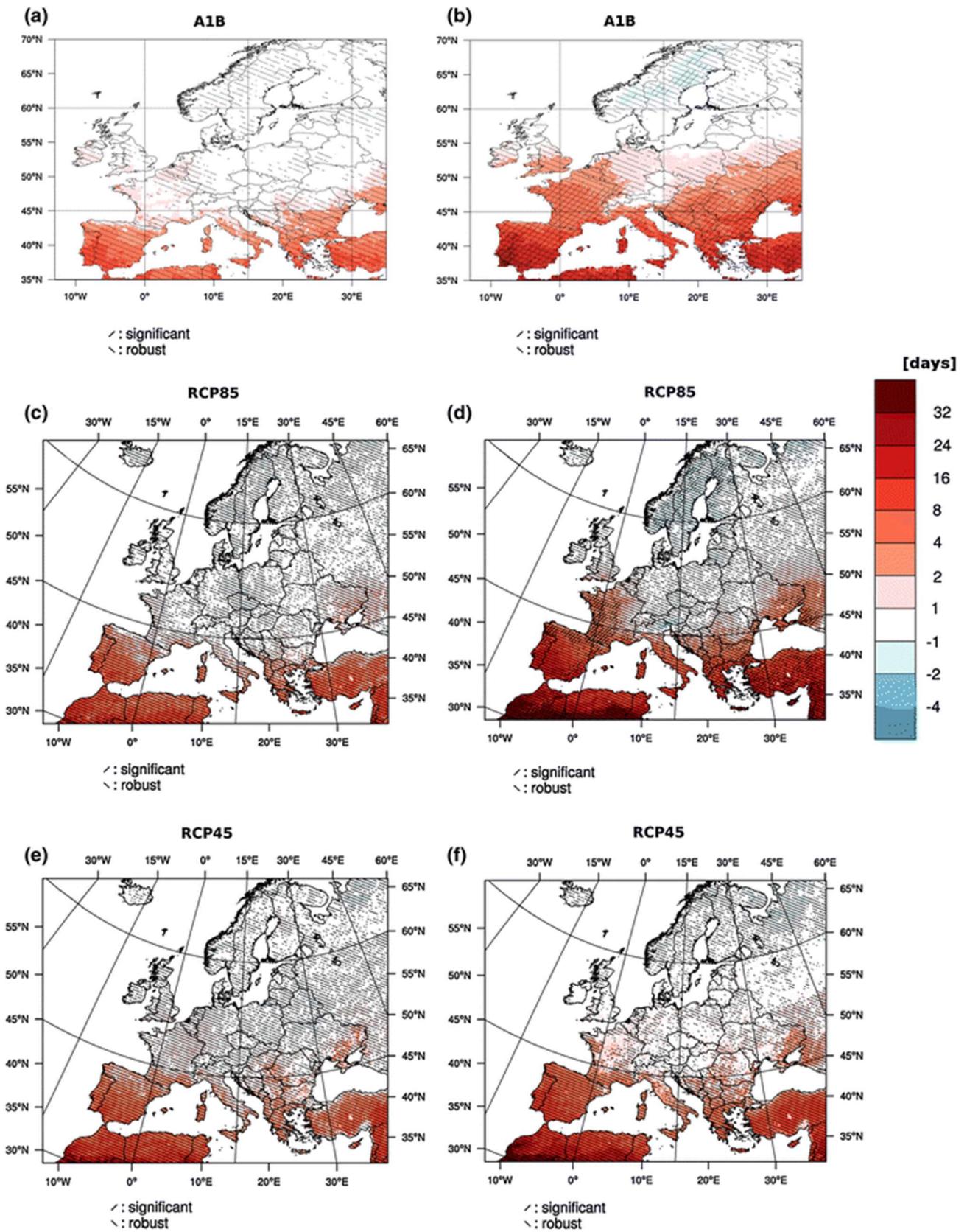


FIGURA 3.39 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI DEL 95° PERCENTILE DELLA DURATA DEI PERIODI DI SICCATÀ (IN GIORNI) PER IL PERIODO 2021-2050 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 (A, C, E) E PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 (B, D, F) PER GLI SCENARI A1B (A, B), RCP8.5 (C, D) E RCP4.5 (E, F). LE AREE EVIDENZIATE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI

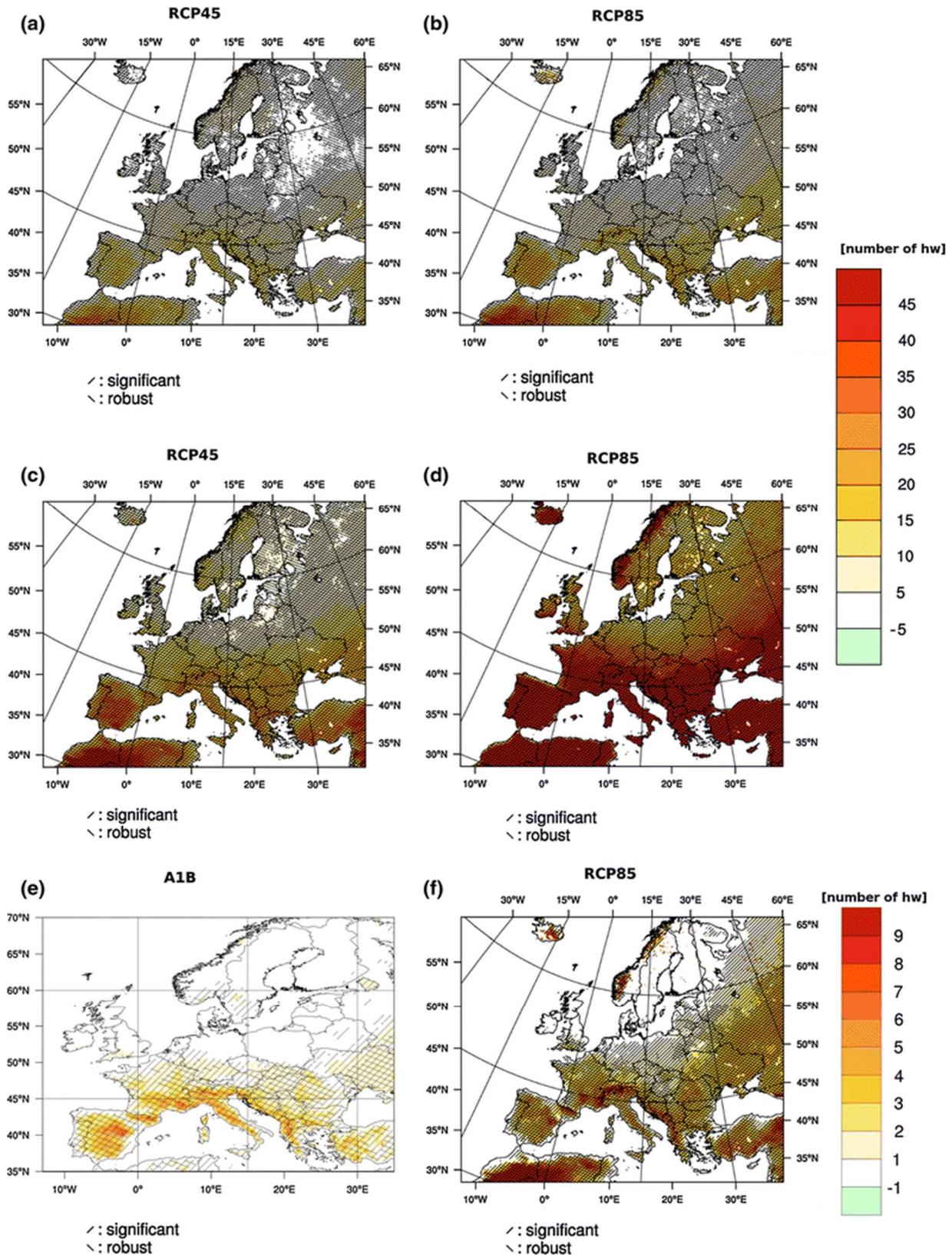


FIGURA 3.40 PROIEZIONI DEI CAMBIAMENTI NEL NUMERO MEDIO DELLE ONDATE DI CALORE NEI MESI FRA MAGGIO E SETTEMBRE PER IL PERIODO 2021-2050 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 (A, B) E PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 (DA C A F). LE ONDATE DI CALORE DALLA FIGURA A ALLA FIGURA D SONO DEFINITE COME PERIODI DI PIÙ DI TRE GIORNI CONSECUTIVI CHE ECCEDONO IL 99° PERCENTILE DELLA TEMPERATURA MASSIMA GIORNALIERA DEL PERIODO COMPRESO FRA MAGGIO E SETTEMBRE PER IL PERIODO DI RIFERIMENTO 1971-2000. LE ONDATE DI CALORE NELLE FIGURE E E F SONO DEFINITE COME PERIODI DI PIÙ DI 5 GIORNI CONSECUTIVI CON TEMPERATURA MASSIMA GIORNALIERA CHE ECCEDI DI ALMENO 5°C LA MEDIA DELLE TEMPERATURE MASSIME NEI MESI COMPRESI FRA MAGGIO E SETTEMBRE PER IL PERIODO 1971-2000. LE PROIEZIONI SONO BASATE SUGLI SCENARI A1B (E), RCP8.5 (B, D, F) E RCP4.5 (A, C). LE AREE CON PATTERN OBLIQUI INDICANO REGIONI CON CAMBIAMENTI STATISTICAMENTE ROBUSTI E/O SIGNIFICATIVI

3.2.2 Proiezioni a scala nazionale

A scala nazionale, sono state considerate le informazioni e le proiezioni climatiche elaborate dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) descritte in dettaglio in Bucchignani et al. (2016) e in Zollo et al. (2016). Si rimanda a tali pubblicazioni per una disamina completa delle performance dei modelli (i.e. dal confronto dei valori delle variabili generate dal modello e osservate in uno specifico contesto spazio-temporale) utilizzati in sede di proiezione climatica.

In sintesi, Bucchignani et al. (2016) prevede un significativo riscaldamento in Italia per la fine del XXI secolo, insieme a una generale riduzione delle precipitazioni, particolarmente evidente in primavera e in estate. Zollo et al. (2016) prevedono in Italia, per lo stesso periodo, un incremento degli eventi climatici estremi. Di seguito sono riportati in dettaglio i risultati degli studi di Bucchignani et al. (2016) e di Zollo et al. (2016).

Analisi delle temperature e precipitazioni medie future (Bucchignani et al., 2016)

Bucchignani et al. (2016) mostrano i risultati di simulazioni climatiche effettuate con il modello COSMO-CLM, riportate a scala nazionale con tecniche di *downscaling* dinamico. Sono state effettuate dagli autori tre simulazioni guidate dal modello ERA-Interim Reanalysis per il periodo 1979-2011. Tali simulazioni sono state effettuate con una risoluzione spaziale rispettivamente di $0,22^\circ$ (circa 25km), $0,125^\circ$ (circa 14km) e $0,0715^\circ$ (circa 8km), e sono state denominate, rispettivamente, Italy25km, Italy14km, Italy8km. Inoltre sono state eseguite due simulazioni per il periodo 1971-2100 con una risoluzione spaziale di $0,0715^\circ$, guidate dal modello globale GCM CMCC-CM, utilizzando gli scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5. Tali simulazioni sono state denominate Italy8kmCM. I risultati sono stati convalidati confrontando l'output del modello con dataset indipendenti di dati osservati. Le proiezioni climatiche mostrano un significativo riscaldamento in Italia previsto per la fine del XXI secolo, insieme a una generale riduzione delle precipitazioni, particolarmente evidente in primavera e in estate. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle analisi.

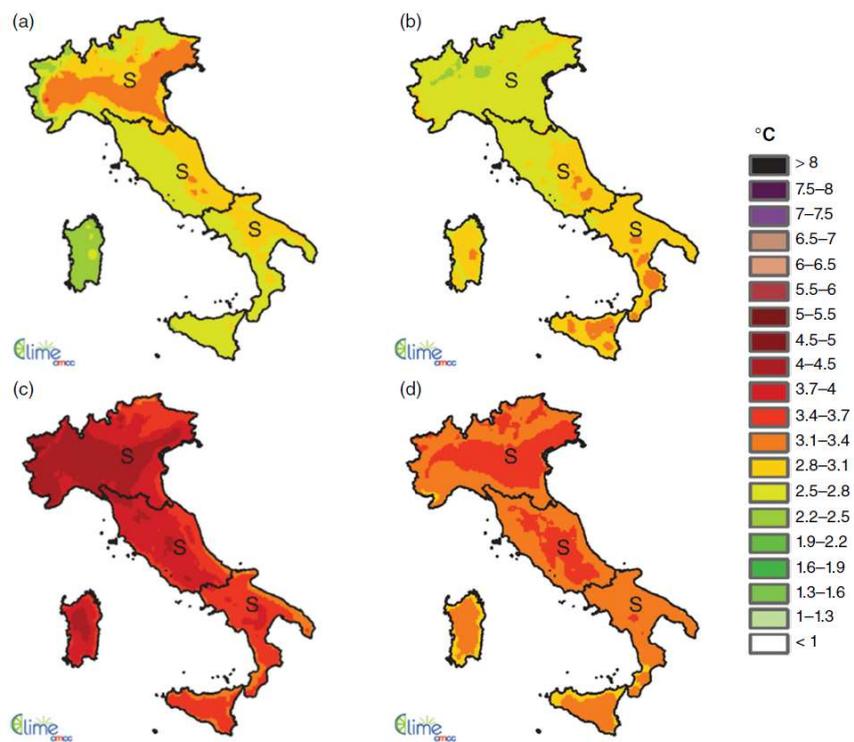


FIGURA 3.41 PROIEZIONI CLIMATICHE DI TEMPERATURA (IN °C) PER LO SCENARIO RCP4.5. DIFFERENZE STAGIONALI DI TEMPERATURA PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 PER: (A) DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO, (B) MARZO, APRILE MAGGIO, (C) GIUGNO LUGLIO E AGOSTO E (D) SETTEMBRE, OTTOBRE, NOVEMBRE. (S=SIGNIFICATIVO, NS=NON SIGNIFICATIVO)

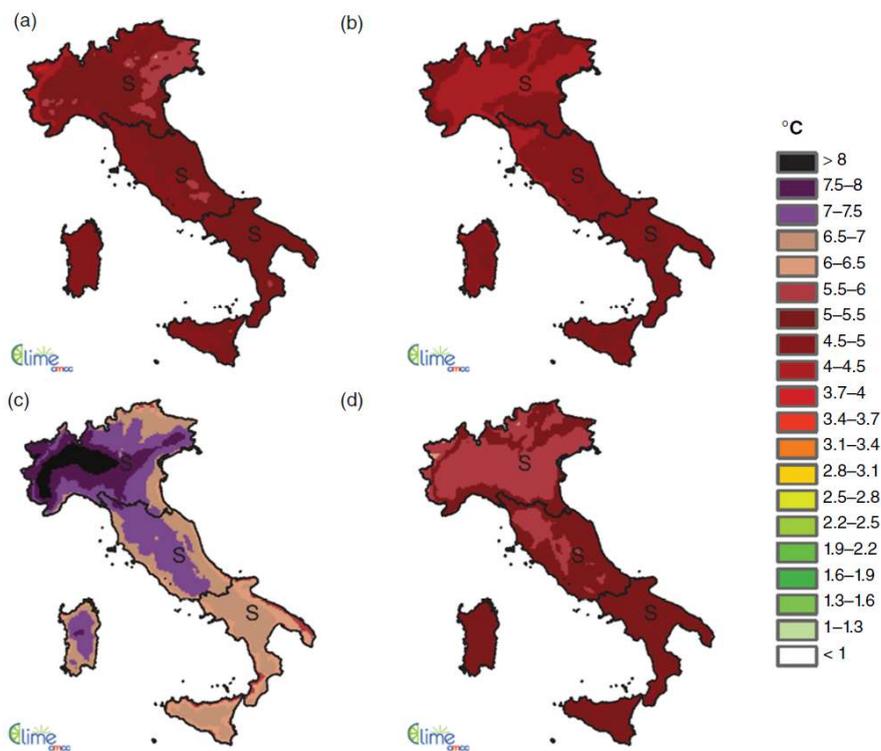


FIGURA 3.42 PROIEZIONI CLIMATICHE DI TEMPERATURA (IN °C) PER LO SCENARIO RCP8.5. DIFFERENZE STAGIONALI DI TEMPERATURA PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 PER: (A) DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO, (B) MARZO, APRILE MAGGIO, (C) GIUGNO LUGLIO E AGOSTO E (D) SETTEMBRE, OTTOBRE, NOVEMBRE. (S=SIGNIFICATIVO, NS=NON SIGNIFICATIVO)

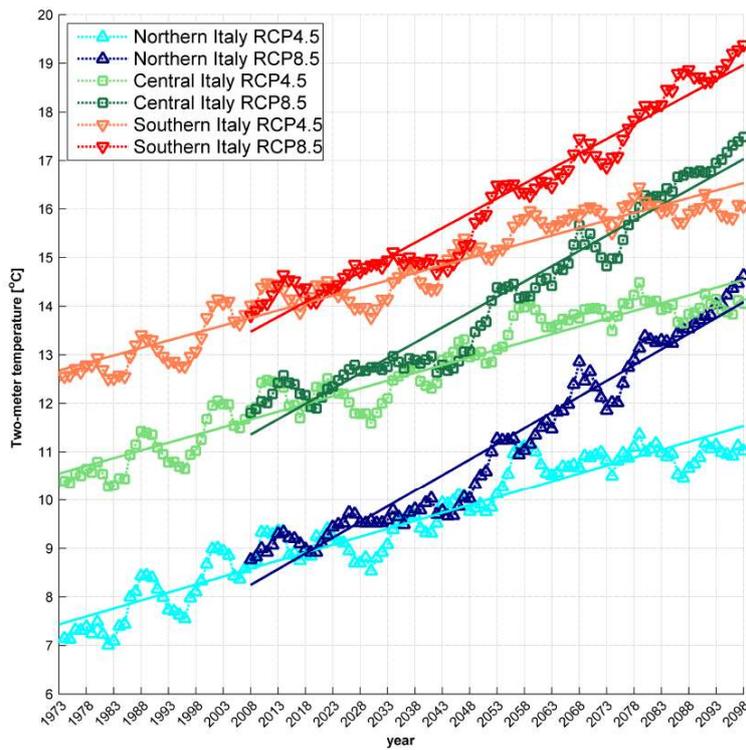


FIGURA 3.43 SERIE TEMPORALI E TREND DI TEMPERATURA (IN °C) PER L'ITALIA SETTENTRIONALE, CENTRALE E MERIDIONALE PER GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5

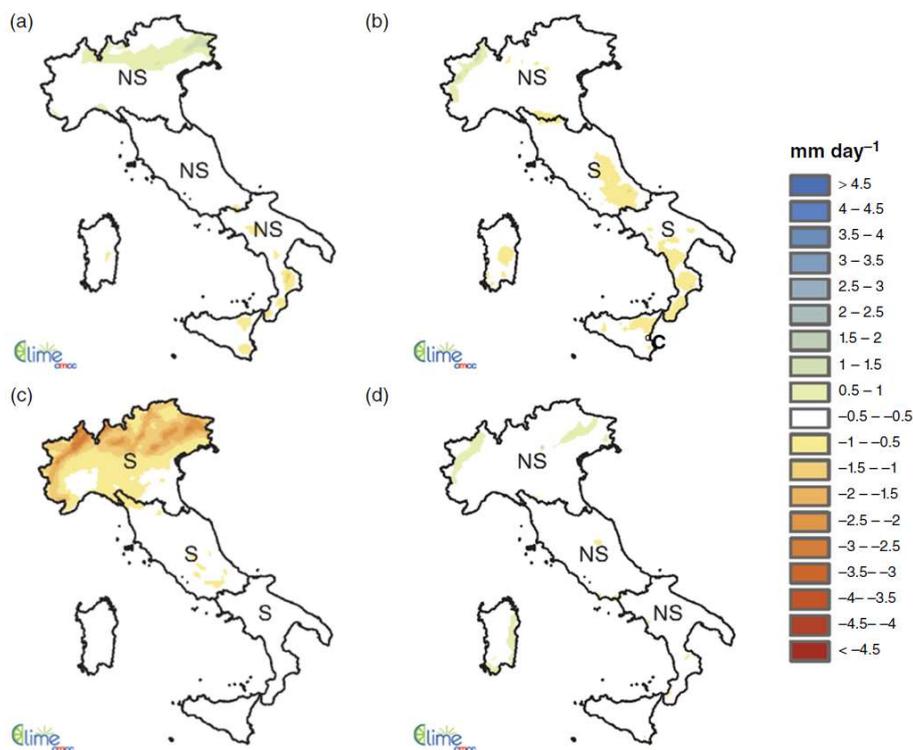


FIGURA 3.44 PROIEZIONI CLIMATICHE DI PIOGGIA (IN MM ANNO^{-1}) PER LO SCENARIO RCP4.5. DIFFERENZE STAGIONALI DI PIOGGIA PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 PER: (A) DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO, (B) MARZO, APRILE MAGGIO, (C) GIUGNO LUGLIO E AGOSTO E (D) SETTEMBRE, OTTOBRE, NOVEMBRE. (S=SIGNIFICATIVO, NS=NON SIGNIFICATIVO)

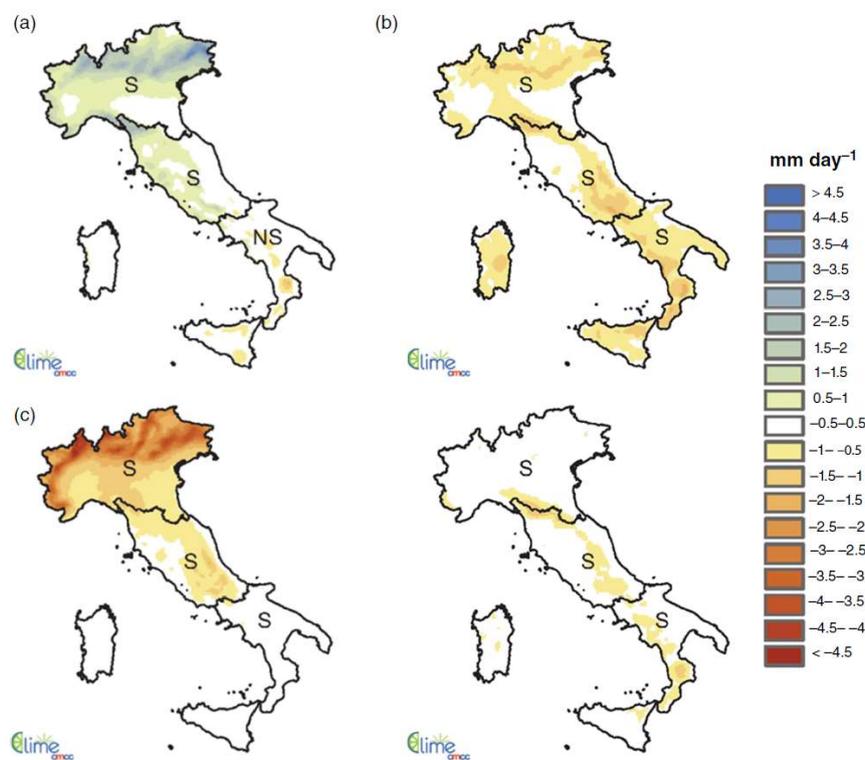


FIGURA 3.45 PROIEZIONI CLIMATICHE DI PIOGGIA (IN MM ANNO^{-1}) PER LO SCENARIO RCP8.5. DIFFERENZE STAGIONALI DI PIOGGIA PER IL PERIODO 2071-2100 COMPARATO CON IL PERIODO 1971-2000 PER: (A) DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO, (B) MARZO, APRILE MAGGIO, (C) GIUGNO LUGLIO E AGOSTO E (D) SETTEMBRE, OTTOBRE, NOVEMBRE. (S=SIGNIFICATIVO, NS=NON SIGNIFICATIVO)

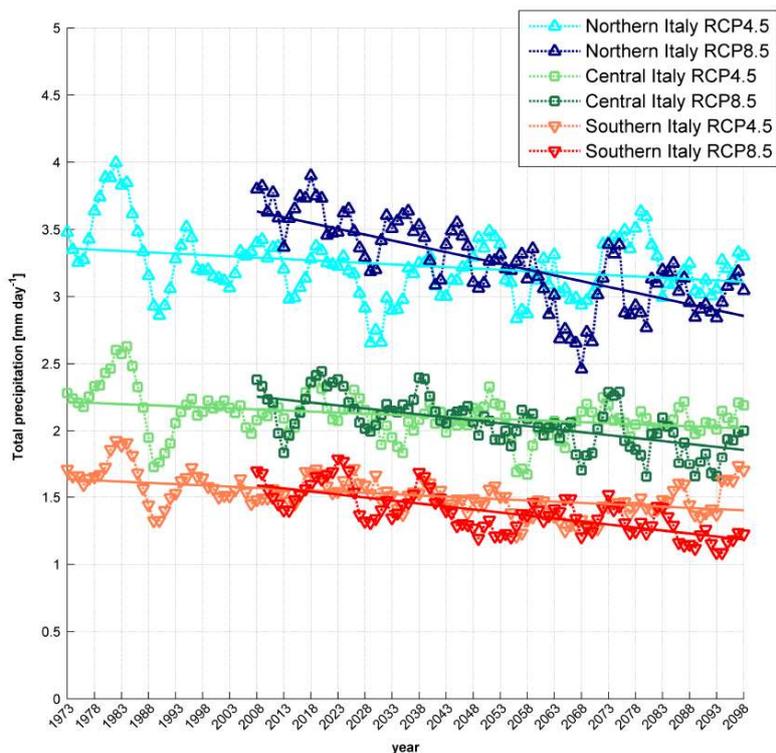


FIGURA 3.46 SERIE TEMPORALI E TENDI DI PIOGGIA (IN MM ANNO⁻¹) PER L'ITALIA SETTENTRIONALE, CENTRALE E MERIDIONALE PER GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5

La Figura 3.41 mostra le proiezioni climatiche di variazione di temperatura (in °C) per lo scenario RCP4.5 per il periodo 2071-2100 comparato con il periodo 1971-2000. È previsto un aumento generale della temperatura di circa 3°C in tutte le stagioni e per tutto il territorio della penisola italiana. Picchi di 4 ° C sono previsti sulla Pianura Padana in inverno e su tutto il nord-ovest in estate.

La Figura 3.42 mostra proiezioni climatiche di variazione di temperatura (in °C) per lo scenario RCP8.5. È previsto un maggiore incremento di temperatura che va da un minimo di 4°C in autunno ad un massimo di 7,5°C in estate. Le variazioni di temperatura sono statisticamente significative su tutto il territorio nazionale, per entrambi gli scenari.

La Figura 3.43 mostra le serie temporali e i trend di temperatura per Nord, Centro e Sud Italia. La figura conferma il riscaldamento in tutte le aree della penisola di circa 3,2°C al secolo secondo lo scenario RCP4.5 e circa 6,3°C per secolo secondo lo scenario RCP8.5.

La Figura 3.44 mostra le proiezioni climatiche di variazione di precipitazioni per il periodo 2071-2100 comparato al periodo 1971-2000 per lo scenario RCP4.5. È previsto un moderato e non significativo aumento delle precipitazioni in inverno nella zona alpina orientale, mentre è prevista una diminuzione significativa in estate nel nord Italia. Notevoli riduzioni sono previste anche nei mesi primaverili (marzo, aprile, maggio) nell'Italia centrale e meridionale.

La Figura 3.45 mostra le stesse proiezioni di variazione per lo scenario RCP8.5. È previsto un incremento significativo delle precipitazioni in inverno sul centro e nord Italia. Tale incremento è più pronunciato in Liguria. L'Italia centrale e settentrionale sarà interessata da una forte riduzione significativa delle precipitazioni in estate, particolarmente evidente nell'area alpina. Tutta l'area italiana sarà interessata da una significativa riduzione delle precipitazioni nei mesi primaverili, soprattutto nelle zone di alta montagna, mentre in autunno solo gli Appennini saranno interessati da una riduzione delle precipitazioni.

La Figura 3.46 mostra le serie temporali e i trend precipitazione per l'Italia settentrionale, centrale e meridionale, evidenziando una leggera diminuzione in tutte le aree della penisola italiana secondo lo scenario RCP4.5 e una riduzione più evidente secondo lo scenario RCP8.5.

Le performance del modello fin qui utilizzato (Bucchignani et al., 2016) sono state valutate tramite il coefficiente BIAS (Bachner et al., 2008). I risultati di tali valutazioni dei coefficienti di BIAS sono riportati nelle figure seguenti.

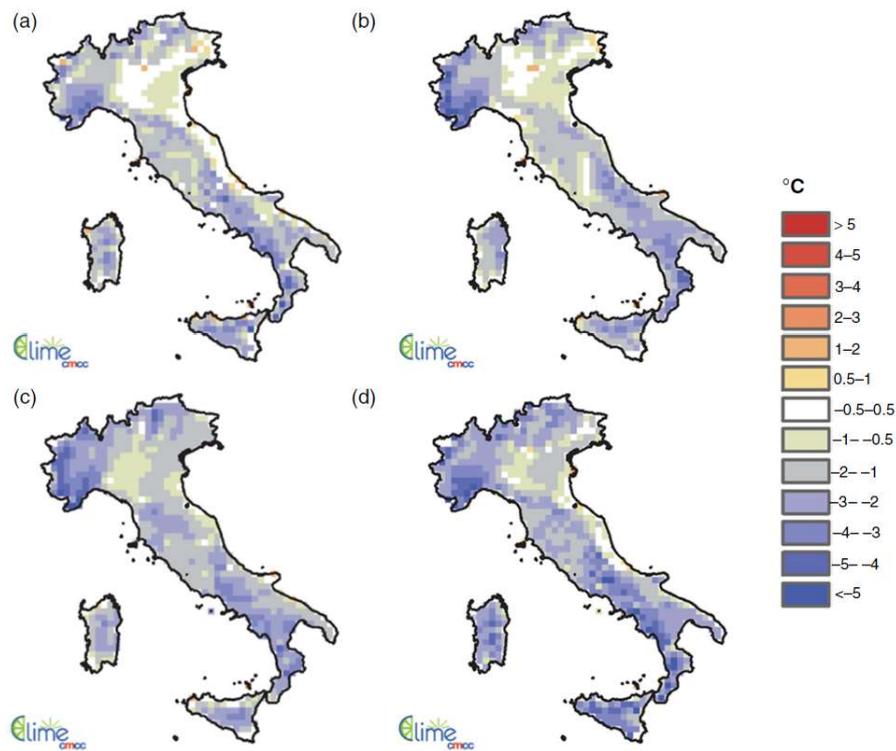


FIGURA 3.47 BIAS DELLA TEMPERATURA MEDIA (ESPRESSA IN °C) PER LA STAGIONE INVERNALE (DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO) RISPETTO ALLE E-OBS PER (A) ITALY8KM, (B) ITALY14KM, (C) ITALY25KM E (D) ITALY8KCM.

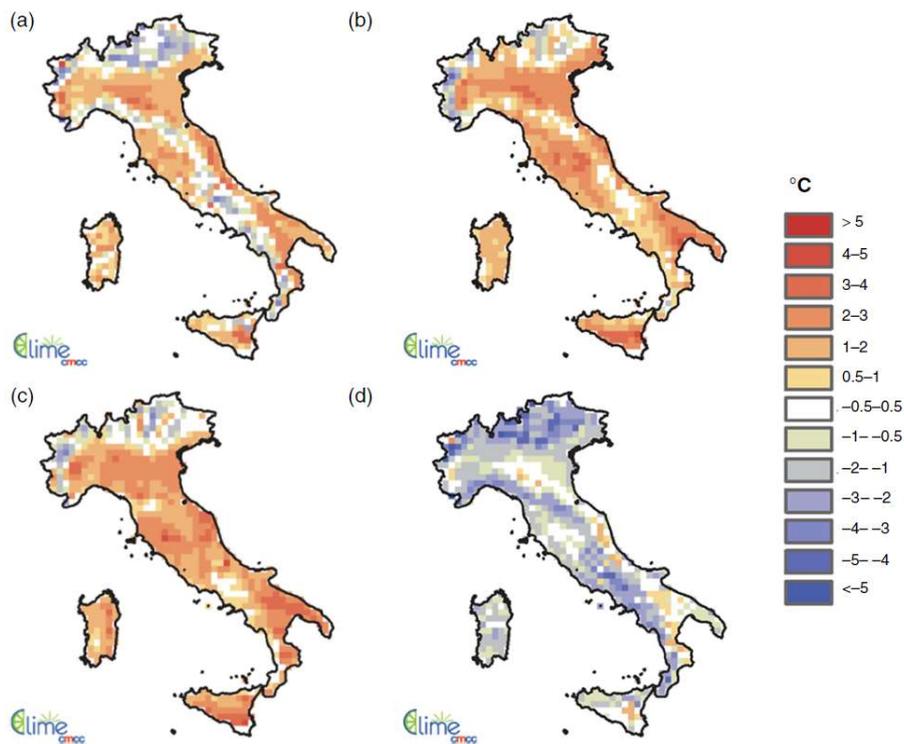


FIGURA 3.48 BIAS DELLA TEMPERATURA MEDIA (ESPRESSA IN °C) PER LA STAGIONE ESTIVA (GIUGNO, LUGLIO, AGOSTO) RISPETTO ALLE E-OBS PER (A) ITALY8KM, (B) ITALY14KM, (C) ITALY25KM E (D) ITALY8KMCM.

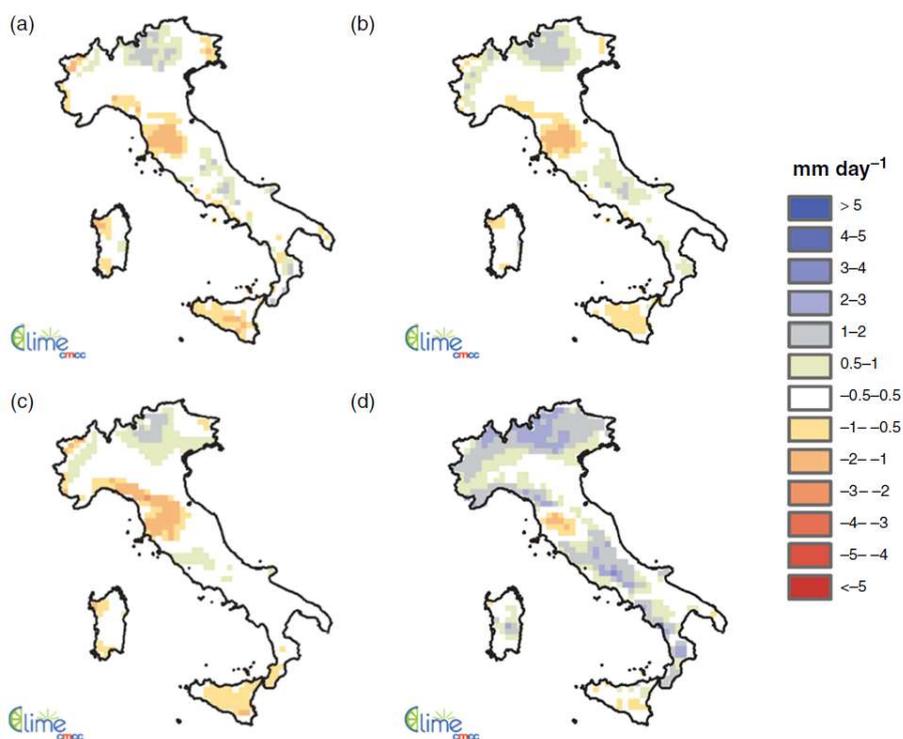


FIGURA 3.49 BIAS DELLA PRECIPITAZIONE (ESPRESSA IN MM ANNO⁻¹) PER LA STAGIONE INVERNALE (DICEMBRE, GENNAIO, FEBBRAIO) RISPETTO ALLE E-OBS PER (A) ITALY8KM, (B) ITALY14KM, (C) ITALY25KM E (D) ITALY8KMCM.

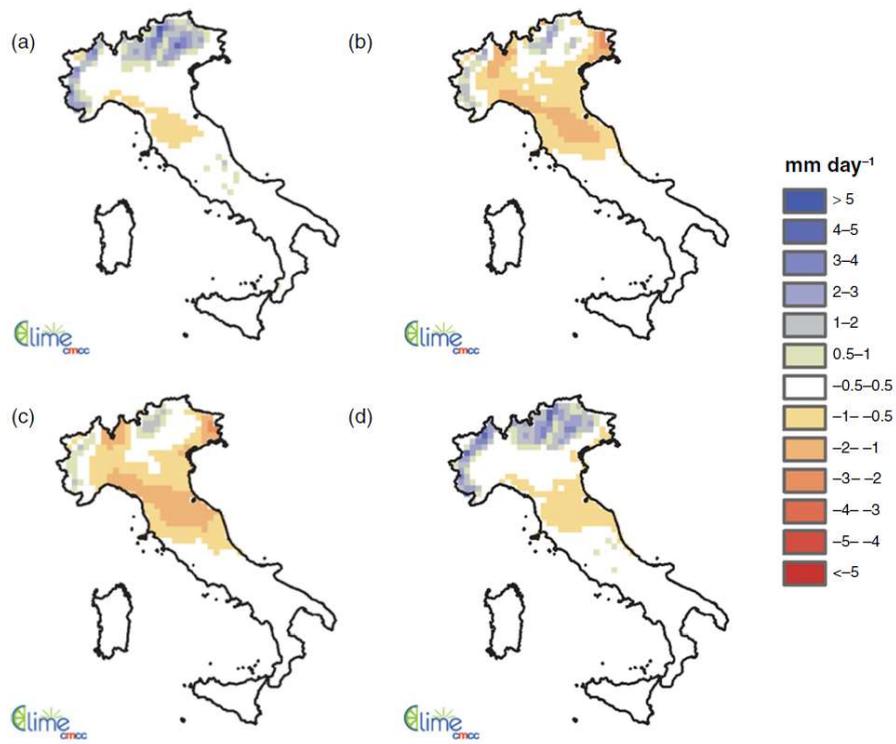


FIGURA 3.50 BIAS DELLA PRECIPITAZIONE (ESPRESSA IN MM ANNO⁻¹) PER LA STAGIONE ESTIVA (GIUGNO, LUGLIO, AGOSTO) RISPETTO ALLE E-OBS PER (A) ITALY8KM, (B) ITALY14KM, (C) ITALY25KM E (D) ITALY8KMCM.

I valori simulati di temperatura sono stati confrontati con *dataset* E-OBS per il periodo 1980-2011, considerando le stagioni invernali (dicembre, gennaio, febbraio) ed estive (giugno, luglio, agosto), in cui sono stati osservati i più alti valori di BIAS. La distribuzione dei valori medi di BIAS (espressi in °C) per le quattro simulazioni per i mesi invernali ed estivi è mostrata, rispettivamente nella Figura 3.47 e nella Figura 3.48. Le figure mostrano che in inverno si registra una sottostima generale della temperatura, specialmente nelle Alpi Liguri e nel sud Italia.

Anche per le precipitazioni, i valori simulati sono stati confrontati con il *dataset* E-OBS per il periodo 1980-2011, considerando le stagioni invernali (dicembre, gennaio, febbraio) ed estive (giugno, luglio, agosto). La distribuzione spaziale dei valori di BIAS (espressi in mm anno⁻¹) è mostrata per la stagione invernale (Figura 3.49) e per la stagione estiva (Figura 3.50) per le quattro simulazioni. Per la stagione invernale, le simulazioni guidate da ERA-Interim mostrano generalmente una sovrastima dei valori di precipitazione nell'area alpina, mentre si osserva una sottostima nelle regioni Toscana e Sicilia. Il resto dell'Italia mostra valori di BIAS bassi. Gli errori più grandi si verificano in aree con orografia complessa, mentre le differenze altrove sono basse o addirittura nulle.

Analisi dei futuri eventi estremi di temperatura e precipitazione (Zollo et al., 2016)

Zollo et al. (2016) hanno effettuato un'analisi dettagliata delle condizioni climatiche estreme presenti e future in Italia attraverso l'uso di alcuni indicatori estremi riportati in Tabella 3-7. Gli autori hanno effettuato quattro simulazioni con risoluzioni spaziali di $0,125^\circ$ (circa 14km) e $0,0715^\circ$ (circa 8km), guidate dal modello ERA-Interim Reanalysis e dal modello globale GCM CMCC-CM. È stata studiata la variazione degli eventi climatici estremi considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. I risultati di tale studio mostrano che in Italia è previsto un incremento di tali eventi.

La Figura 3.51 mostra le variazioni climatiche per il periodo 2071-2100 rispetto al 1981-2010 in termini di precipitazioni, temperatura minima e temperatura massima. Per le variabili considerate in figura, il segnale di cambiamento climatico ottenuto considerando lo scenario RCP8.5 è più forte. Nel caso delle precipitazioni, lo scenario RCP4.5 proietta un lieve calo generale che non supera mai il 10%; un risultato simile è mostrato per RCP8.5, ma con una riduzione più accentuata soprattutto nel sud Italia. Nel caso della temperatura (sia minima che massima), è previsto un riscaldamento abbastanza uniforme tra 2 e 3 °C considerando lo scenario RCP4.5. Il riscaldamento è significativamente più alto considerando lo scenario RCP8.5, specialmente nel caso di temperature massime, in cui i picchi oltre i 6 °C sono raggiunti sulla parte occidentale dell'arco alpino.

I risultati del modello sono stati confrontati con *dataset* di dati osservativi ad alta risoluzione. I confronti sono stati effettuati usando il *dataset* grigliato EURO4M-APGD (EURO4M) (Isotta et al., 2014) per le precipitazioni. Tale *dataset* presenta una risoluzione spaziale di 5 km e una risoluzione temporale giornaliera. Inoltre sono state utilizzate le serie di dati raccolti dalle stazioni dalle ARPA regionali (Agenzia regionale per la protezione ambientale). In particolare sono stati utilizzati i dati delle ARPA delle seguenti regioni: (i) Veneto (temperatura e precipitazioni); (ii) Toscana (precipitazioni); (iii) Sardegna (temperatura e precipitazioni); (iv) Calabria (temperatura e precipitazioni). Sono state scelte tali regioni per i seguenti motivi: le regioni Veneto e Sardegna sono spesso colpite da eventi meteorologici estremi, La Toscana presenta una grande eterogeneità morfologica ed infine la Calabria tende ad un clima generalmente più caldo e secco.

L'analisi dell'andamento spaziale del BIAS mostra che gli indici estremi sono sovrastimati sulle catene montuose e sottostimati altrove. È stato riscontrato che il modello ha alcune difficoltà a riprodurre correttamente la variabilità osservata per le giornate secche e per le giornate umide nell'area alpina. Il modello tende ad accentuare la differenza tra il numero di giorni piovosi per la regione alpina (sovrastimati) e per le aree pianeggianti circostanti (sottostimati).

TABELLA 3-7 INDICATORI CLIMATICI ESTREMI UTILIZZATI DA ZOLLO ET AL. (2016) NELL'ANALISI DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE ESTREME PRESENTI E FUTURE IN ITALIA

	Abbreviazione	Descrizione	Unità di misura
Precipitazioni	SDII	Indice di intensità giornaliera semplice - precipitazioni medie nei giorni di pioggia (> 1 mm)	mm giorno ⁻¹
	CDD	Numero massimo di giorni secchi consecutivi (<1 mm)	giorni anno ⁻¹
	CWD	Numero massimo di giorni umidi consecutivi (<1 mm)	giorni anno ⁻¹
	Rx1day	Precipitazione giornaliera massima	mm giorno ⁻¹
	Rx5day	Precipitazione cumulata massima di 5 giorni consecutivi	mm 5 giorni ⁻¹
	R10	Numero di giorni con precipitazione ≥10 mm giorno ⁻¹	giorni anno ⁻¹
	R20	Numero di giorni con precipitazione ≥10 mm giorno ⁻¹	giorni anno ⁻¹
	99p	99° percentile delle precipitazioni giornaliere considerando solo le giornate umide (> 1 mm)	mm giorno ⁻¹
	90p	90° percentile delle precipitazioni giornaliere considerando solo le giornate umide (> 1 mm)	mm giorno ⁻¹
Temperature	ID	Ice days: numero dei giorni annui in cui il Tmax giornaliero è inferiore a 0 ° C	giorni anno ⁻¹
	SU	Sumemr days: numero dei giorni annui in cui il Tmax giornaliero è superiore a 25 ° C	giorni anno ⁻¹
	90p tmax	90° percentile del Tmax giornaliero	°C
	TXx	Valore massimo annuale del Tmax giornaliero	°C
	FD	Frost days: mumento dei giorni annui in cui la Tmin giornaliera è inferiore a 0°C	giorni anno ⁻¹
	TR	Tropical night: mumento dei giorni annui in cui la Tmin giornaliera supera i 20 °C	giorni anno ⁻¹
	10p tmin	10° percentile della Tmin giornaliera	°C
	TNn	Valore minimo annuo della Tmin giornaliera	°C

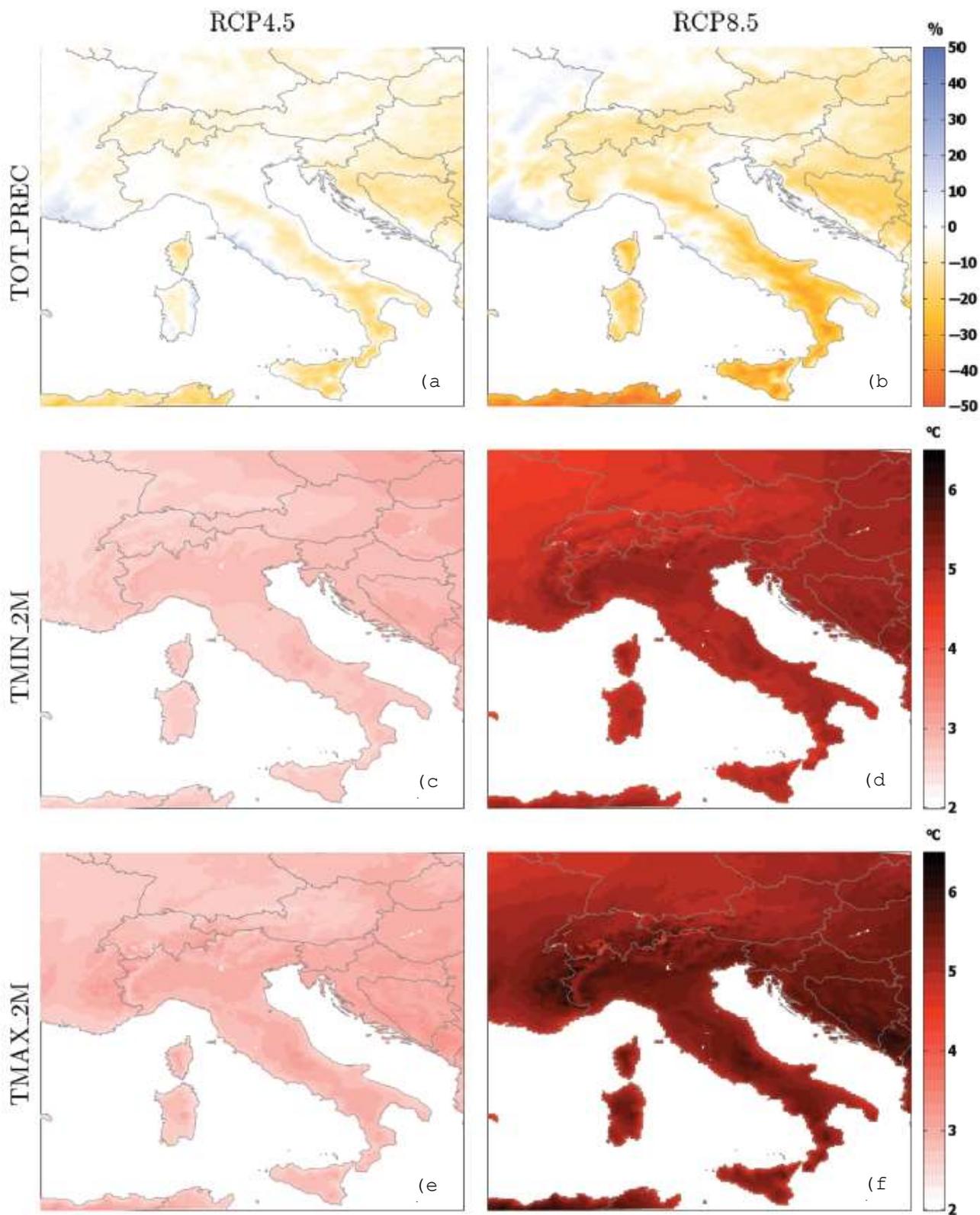


FIGURA 3.51 SEGNALE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI PER IL PERIODO 2071-2100 RISPETTO AL 1981-2010 PER LA PRECIPITAZIONE MEDIA, LA TEMPERATURA MASSIMA E LA TEMPERATURA MINIMA

3.2.3 Estrazione delle proiezioni europee e nazionali per il comune della Spezia

Dalle analisi sopra descritte abbiamo estratto i possibili scenari attesi nel territorio comunale indicando graficamente i trend attesi e relativi range quantitativi (classificati in accordo con le legende delle figure sopra riportate). Tali scenari attesi saranno utilizzati come riferimento nel seguito del documento. In particolare la Tabella 3-8 riporta i risultati delle analisi derivate derivati dalle proiezioni a scala europea, mentre la Tabella 3-9 riporta i risultati delle analisi derivate derivati dalle proiezioni a scala nazionale.

TABELLA 3-8 SINTESI CAMBIAMENTI CLIMATICI ATTESI NEL COMUNE DELLA SPEZIA IN RIFERIMENTO AL PERIODO 1971-2000
DERIVATI DALLE PROIEZIONI A SCALA EUROPEA

Scenario	Indicatore climatico (Unità di misura)	Periodo	Trend atteso	Valore atteso	Riferimento
RCP4.5	Precipitazione annua (%)	2071-2100	↔	+5 ÷ -5	Figura 3.33a
RCP4.5	Temperatura annua (K)	2071-2100	↑	+2 ÷ +2.5	Figura 3.33b
RCP8.5	Precipitazione annua (%)	2071-2100	↓	-5 ÷ -15	Figura 3.33c
RCP8.5	Temperatura annua (K)	2071-2100	↑	+3 ÷ +3.5	Figura 3.33d
A1B	Precipitazione annua (%)	2071-2100	↓	-5 ÷ -15	Figura 3.33e
A1B	Temperatura annua (K)	2071-2100	↑	+2 ÷ +2.5	Figura 3.33f
RCP8.5	Precipitazioni intense JJA (%)	2071-2100	↓	-5 ÷ -15	Figura 3.34a
RCP8.5	Precipitazioni intense SON (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.34b
RCP8.5	Precipitazioni intense DJF (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.34c
RCP8.5	Precipitazioni intense MAM (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.34d
A1B	Precipitazioni intense JJA (%)	2071-2100	↔	-5 ÷ +5	Figura 3.35a
A1B	Precipitazioni intense SON (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.35b
A1B	Precipitazioni intense DJF (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.35c
A1B	Precipitazioni intense MAM (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.35d
RCP4.5	Precipitazioni intense JJA (%)	2071-2100	↔	-5 ÷ +5	Figura 3.36a
RCP4.5	Precipitazioni intense SON (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.36b
RCP4.5	Precipitazioni intense DJF (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.36c
RCP4.5	Precipitazioni intense MAM (%)	2071-2100	↑	+5 ÷ +15	Figura 3.36d
A1B	Durata periodi di siccità (days)	2021-2050	↔	-1 ÷ +1	Figura 3.39a
A1B	Durata periodi di siccità (days)	2071-2100	↑	+4 ÷ +8	Figura 3.39b

RCP8.5	Durata periodi di siccità (days)	2021-2050	↔	-1 ÷ +1	Figura 3.39c
RCP8.5	Durata periodi di siccità (days)	2071-2100	↑	+4 ÷ +8	Figura 3.39d
RCP4.5	Durata periodi di siccità (days)	2021-2050	↑	+1 ÷ +2	Figura 3.39e
RCP4.5	Durata periodi di siccità (days)	2071-2100	↑	+2 ÷ +4	Figura 3.39f
RCP4.5	Ondate di calore (#)	2021-2050	↑	+10 ÷ +20	Figura 3.40a
RCP8.5	Ondate di calore (#)	2021-2050	↑	+10 ÷ +20	Figura 3.40b
RCP4.5	Ondate di calore (#)	2071-2100	↑	+20 ÷ +25	Figura 3.40c
RCP8.5	Ondate di calore (#)	2071-2100	↑	+45 ÷ +50	Figura 3.40d
A1B	Ondate di calore (#)	2071-2100	↑	+4 ÷ +5	Figura 3.40e
RCP8.5	Ondate di calore (#)	2071-2100	↑	+5 ÷ +6	Figura 3.40d

TABELLA 3-9 SINTESI CAMBIAMENTI CLIMATICI ATTESI NEL COMUNE DELLA SPEZIA IN RIFERIMENTO AL PERIODO 1971-2000
DERIVATI DALLE PROIEZIONI A SCALA NAZIONALE

Scenario	Indicatore climatico (Unità di misura)	Periodo	Trend atteso	Valore atteso	Riferimento
RCP4.5	Temperatura media DJF (°C)	2071-2100	↑	+2.5 ÷ +2.8	Figura 3.41a
RCP4.5	Temperatura media MAM (°C)	2071-2100	↑	+2.5 ÷ +2.8	Figura 3.41b
RCP4.5	Temperatura media JJA (°C)	2071-2100	↑	+4.0 ÷ +4.5	Figura 3.41c
RCP4.5	Temperatura media SON (°C)	2071-2100	↑	+3.1 ÷ +3.4	Figura 3.41d
RCP8.5	Temperatura media DJF (°C)	2071-2100	↑	+4.5 ÷ +5.0	Figura 3.42a
RCP8.5	Temperatura media MAM (°C)	2071-2100	↑	+4.0 ÷ +4.5	Figura 3.42b
RCP8.5	Temperatura media JJA (°C)	2071-2100	↑	+7.0 ÷ +7.5	Figura 3.42c
RCP8.5	Temperatura media SON (°C)	2071-2100	↑	+5.0 ÷ +5.5	Figura 3.42d
RCP4.5	Precipitazione DJF (mm day ⁻¹)	2071-2100	↔	-0.5 ÷ +0.5	Figura 3.44a
RCP4.5	Precipitazione MAM (mm day ⁻¹)	2071-2100	↔	-0.5 ÷ +0.5	Figura 3.44b
RCP4.5	Precipitazione JJA (mm day ⁻¹)	2071-2100	↓	-1.0 ÷ -0.5	Figura 3.44c
RCP4.5	Precipitazione SON (mm day ⁻¹)	2071-2100	↔	-0.5 ÷ +0.5	Figura 3.44d
RCP8.5	Precipitazione DJF (mm day ⁻¹)	2071-2100	↑	+2.0 ÷ +2.5	Figura 3.44a
RCP8.5	Precipitazione MAM (mm day ⁻¹)	2071-2100	↓	-1.0 ÷ -0.5	Figura 3.44b
RCP8.5	Precipitazione JJA (mm day ⁻¹)	2071-2100	↓	-1.0 ÷ -0.5	Figura 3.44c
RCP8.5	Precipitazione SON (mm day ⁻¹)	2071-2100	↔	-0.5 ÷ +0.5	Figura 3.44d
RCP4.5	Precipitazione annua (%)	2071-2100	↔	0	Figura 3.51a
RCP8.5	Precipitazione annua (%)	2071-2100	↔	0	Figura 3.51b
RCP4.5	Temperatura minima (°C)	2071-2100	↑	+2.0 ÷ +3.0	Figura 3.51c
RCP8.5	Temperatura minima (°C)	2071-2100	↑	+4.5 ÷ +5.0	Figura 3.51d
RCP4.5	Temperatura massima (°C)	2071-2100	↑	+2.5 ÷ +3.0	Figura 3.51e
RCP8.5	Temperatura massima (°C)	2071-2100	↑	+5.0 ÷ +5.5	Figura 3.51f

3.2.4 Proiezioni a medio termine per il comune della Spezia

Oltre alle elaborazioni precedenti, sono state effettuate delle elaborazioni aggiuntive con l'obiettivo di realizzare delle proiezioni a medio termine a scala locale per il territorio comunale. A tale scopo sono stati utilizzati gli output di precipitazione e temperatura forniti da modelli climatici regionali (RCM) distribuiti all'interno dell'iniziativa EURO-CORDEX che fornisce proiezioni climatiche regionali per l'Europa con una risoluzione spaziale di 12.5 km (EUR-11) e temporale giornaliera. Sono stati considerati 11 modelli ottenuti da 7 diversi RCMs elaborati da 7 istituti internazionali. In Tabella 3-10 viene riportato l'elenco dei modelli, degli RCMs, l'istituto che li ha prodotti, la *grid resolution* (in gradi), il numero di *pixel* in latitudine e in longitudine e la bibliografia di riferimento. Gli istituti internazionali riportati in Tabella 3-10 che hanno elaborato tali modelli sono:

- CSC (*Climate Service Center - Germany*, Centro servizi climatici - Germania),
- SMHI (*Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut*, Istituto Meteorologico e Idrologico Svedese),
- CCLM (*Climate Limited-area Modelling Community*, Comunità per la modellazione climatica ad area limitata),
- KNMI (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*, Istituto meteorologico reale dei Paesi Bassi),
- IPSL-INERIS (*Institut Pierre-Simon Laplace - Institut national de l'environnement industriel et des risques*, Istituto Pierre-Simon Laplace - Istituto nazionale dell'ambiente industriale e rischi),
- *Météo-France* (servizio nazionale meteorologico francese) e
- DMI (*Danmarks Meteorologiske Institut*, Istituto Meteorologico Danese).

TABELLA 3-10 LISTA DEI MODELLI UTILIZZATI PER LE PROIEZIONI A MEDIO TERMINE E LORO CARATTERISTICHE

Modello	Istituto	Modello RCM	Modello guida	Risoluzione	Bibliografia
1	SMHI	RCA4	CNRM-CM5	0.11 deg	(Kupiainen et al., 2018; Samuelsson et al., 2011)
2	CNRM	ALADIN53	CNRM-CM5	0.11 deg	(Colin et al., 2010; Herrmann et al., 2011)
3	CLMcom	CCLM4-8-17	CNRM-CM5-LR	0.11 deg	(Rockel et al., 2008)
4	SMHI	RCA4	MPI-ESM-LR	0.11 deg	(Kupiainen et al., 2018; Samuelsson et al., 2011)
5	MPI-CSC	REMO2009	MPI-ESM-LR	0.11 deg	(Jacob et al., 2012)
6	CLMcom	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR	0.11 deg	(Rockel et al., 2008)
7	IPSL-INERIS	WRF331F	IPSL-CM5A-MR	0.11 deg	(Skamarock et al., 2008)
8	KNMI	RACMO22E	EC-EARTH	0.11 deg	(Meijgaard, 2012)
9	DMI	HIRHAM5	NorESM1-M	0.11 deg	(Christensen et al., 2006)
10	KNMI	RACMO22E	HadGEM2-ES	0.11 deg	(Meijgaard, 2012)
11	CLMcom	CCLM4-8-17	HadGEM2-ES	0.11 deg	(Rockel et al., 2008)

In tali analisi, sono state considerate le variazioni percentuali di temperatura e precipitazione per un orizzonte temporale di medio termine (trentennio 2041-2070) rispetto al periodo storico 1981-2005. Nell'elaborazione sono stati selezionati 9 *pixel* in corrispondenza e nell'intorno del territorio del comune della Spezia e sono state studiate le variazioni di pioggia e temperatura considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per ciascun modello. La Tabella 3-11 e la Tabella 3-12 mostrano, rispettivamente, le variazioni climatiche stagionali e annuali in termini di precipitazione per RCP4.5 e RCP8.5 per gli 11 modelli considerati, mentre la Tabella 3-13 mostra le variazioni climatiche stagionali e

annuali medie in termini di precipitazione considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 per l'ensemble dei modelli (*multimodel mean*). Le tabelle mostrano un generale incremento delle precipitazioni medie stagionali e annuali per entrambi gli scenari climatici considerati. In particolare 7 modelli su 11 sono concordi nel prevedere un incremento della pioggia media nel periodo invernale (DJF) e una riduzione nel periodo estivo (JJA) per lo scenario RCP 4.5. Incrementi della pioggia media stagionale e annuali più marcati sono attesi dallo scenario RCP 8.5 che, come per lo scenario RCP4.5, evidenzia una riduzione della pioggia nel periodo invernale (DJF) per 7 modelli su 11 e un aumento della pioggia media anche nel periodo estivo (JJA) per 8 modelli su 11.

TABELLA 3-11 VARIAZIONI PERCENTUALI STAGIONALI E ANNUALI DI PRECIPITAZIONE PER IL PERIODO 2041-2070 RISPETTO AL PERIODO STORICO 1981-2005, CONSIDERANDO LO SCENARIO RCP4.5.

Modello	DJF	MAM	JJA	SON	Annua
[1]	+6.7	-0.3	+6.0	-7.3	-0.3
[2]	-3.0	-2.0	+4.2	+4.2	+1.3
[3]	+2.1	-7.9	-2.4	-8.6	-4.8
[4]	+3.6	+10.6	-16.6	+7.5	+4.9
[5]	-3.9	+4.1	-18.7	+25.6	+5.6
[6]	+13.6	-1.5	+2.3	+11.1	+7.2
[7]	+18.3	-8.9	-1.4	-1.6	+0.8
[8]	-12.3	-2.5	-9.4	-2.9	-6.9
[9]	-1.7	+13.1	-3.1	+3.9	+2.8
[10]	+5.3	+26.7	-1.9	-0.3	+6.0
[11]	+9.2	+4.8	-47.8	-12.9	-6.8

TABELLA 3-12 VARIAZIONI PERCENTUALI STAGIONALI E ANNUALI DI PRECIPITAZIONE PER IL PERIODO 2041-2017 RISPETTO AL PERIODO STORICO 1981-2005, CONSIDERANDO LO SCENARIO RCP8.5.

Modello	DJF	MAM	JJA	SON	Annua
[1]	+21.5	-1.5	+13.6	-5.8	+5.3
[2]	+12.7	-6.5	+13.9	+0.0	+5.1
[3]	+25.1	-12.1	+4.0	+1.0	+4.1
[4]	+3.8	+7.4	-18.0	+3.8	+3.0
[5]	-9.4	-2.6	-22.6	+17.0	-1.0
[6]	+5.5	-12.5	+4.0	+9.8	+1.8
[7]	+19.3	+19.5	+24.3	-2.2	+14.9
[8]	-12.9	+12.2	+0.1	+11.4	+1.8
[9]	-8.8	+4.6	+2.0	-10.2	-5.7
[10]	-2.8	+23.4	+2.6	-4.5	+2.2
[11]	+1.2	+19.9	-29.2	-13.5	-3.9

Poiché dalle analisi effettuate non è possibile stabilire a priori l'affidabilità dei diversi RCM, le variazioni medie ottenute dall'ensemble (Tabella 3-13) possono considerarsi come variazioni future "più plausibili" in termini di pioggia per il comune della Spezia. Osservando la tabella si nota che per il medio futuro si attende un aumento della pioggia media nel periodo autunno/inverno (SON/DJF) e una riduzione nel periodo estivo (JJA) per entrambi gli scenari di emissione. Si evidenzia comunque che tutti i risultati ottenuti per i singoli modelli sono estremamente variabili alternando variazioni positive a variazioni negative.

TABELLA 3-13 VARIAZIONI PERCENTUALI MEDIE DI PRECIPITAZIONE PER IL PERIODO 2041-2070 RISPETTO AL PERIODO 1981-2005, CONSIDERANDO GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5 PER L'ENSEMBLE DEI MODELLI (*MULTIMODEL MEAN*)

Scenario	Indicatore climatico (Unità di misura)	Periodo	Trend atteso	Variazione attesa
RCP4.5	Precipitazione media DJF (%)	2041-2070	↑	+3.4%
RCP4.5	Precipitazione media MAM (%)	2041-2070	↑	+3.3%
RCP4.5	Precipitazione media JJA (%)	2041-2070	↓	-8.1%
RCP4.5	Precipitazione media SON (%)	2041-2070	↑	+1.7%

RCP4.5	Precipitazione media annua (%)	2041-2070	↑	+0.9%
		2041-2070		
RCP8.5	Precipitazione media DJF (%)	2041-2070	↑	+5.0%
RCP8.5	Precipitazione media MAM (%)	2041-2070	↑	+4.7%
RCP8.5	Precipitazione media JJA (%)	2041-2070	↓	-0.5%
RCP8.5	Precipitazione media SON (%)	2041-2070	↑	+0.6%
RCP8.5	Precipitazione media annua (%)	2041-2070	↑	+2.5%

LA TABELLA 3-14 E LA TABELLA 3-15 RIPORTANO LE VARIAZIONI CLIMATICHE STAGIONALI E ANNUALI TRA IL PERIODO FUTURO (2041-2070) E IL PERIODO ATTUALE (1981-2005) IN TERMINI DI TEMPERATURA MEDIA CONSIDERANDO GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5 PER GLI 11 MODELLI CONSIDERATI. COME SI PUÒ NOTARE, NEL CASSO DELLA TEMPERATURA I MODELLI SONO IN ACCORDO NEL PREVEDERE UN AUMENTO PER TUTTE LE STAGIONI, PIÙ CONSISTENTE NELLO SCENARIO RCP8.5 COME ANCHE MOSTRATO NELLA

Tabella 3-16.

TABELLA 3-14 VARIAZIONI STAGIONALI E ANNUALI (IN °C) DI TEMPERATURA PER IL PERIODO 2041-2070 RISPETTO AL PERIODO STORICO 1981-2005, CONSIDERANDO LO SCENARIO RCP4.5

Modello	DJF	MAM	JJA	SON	Annua
[1]	+1.2	+0.9	+1.7	+1.3	+1.3
[2]	+1.7	+1.1	+1.8	+1.5	+1.6
[3]	+1.1	+0.8	+2.0	+1.3	+1.3
[4]	+1.1	+1.0	+2.0	+1.1	+1.3
[5]	+0.9	+1.0	+1.8	+1.4	+1.3
[6]	+1.1	+1.0	+2.0	+1.0	+1.3
[7]	+1.3	+1.6	+2.1	+1.7	+1.7
[8]	+0.2	+0.8	+1.5	+1.6	+1.0
[9]	+1.7	+1.3	+1.8	+1.4	+1.6
[10]	+2.4	+1.7	+2.3	+2.2	+2.2
[11]	+2.2	+1.6	+3.5	+3.0	+2.6

TABELLA 3-15 VARIAZIONI STAGIONALI E ANNUALI (IN °C) DI TEMPERATURA PER IL PERIODO 2041-2070 RISPETTO AL PERIODO STORICO 1981-2005, CONSIDERANDO LO SCENARIO RCP4.5

Modello	DJF	MAM	JJA	SON	Annua
[1]	+1.8	+1.5	+1.5	+1.9	+1.7
[2]	+2.4	+1.8	+1.6	+2.1	+2.0
[3]	+1.7	+1.5	+1.7	+1.9	+1.7
[4]	+1.5	+1.5	+2.9	+2.3	+2.1
[5]	+1.5	+1.5	+2.6	+2.6	+2.0
[6]	+1.5	+1.6	+2.7	+2.4	+2.1
[7]	+2.1	+1.8	+2.7	+2.6	+2.3
[8]	+0.7	+1.3	+2.0	+2.1	+1.5
[9]	+2.0	+1.5	+2.1	+1.9	+1.9
[10]	+2.6	+2.3	+2.8	+3.0	+2.7
[11]	+2.3	+1.9	+3.9	+3.6	+3.0

TABELLA 3-16 VARIAZIONI STAGIONALI E ANNUALI MEDIE DI TEMPERATURA PER IL PERIODO 2041-2070 RISPETTO AL PERIODO 1981-2005, CONSIDERANDO GLI SCENARI RCP4.5 E RCP8.5 PER L'ENSEMBLE DEI MODELLI (MULTIMODEL MEAN)

Scenario	Indicatore climatico (Unità di misura)	Periodo	Trend atteso	Variazione attesa
RCP4.5	Temperatura media DJF (°C)	2041-2070	↑	+1.4
RCP4.5	Temperatura media MAM (°C)	2041-2070	↑	+1.2
RCP4.5	Temperatura media JJA (°C)	2041-2070	↑	+2.0
RCP4.5	Temperatura media SON (°C)	2041-2070	↑	+1.6
RCP4.5	Temperatura media annua (°C)	2041-2070	↑	+1.6
RCP8.5	Temperatura media DJF (°C)	2041-2070	↑	+1.8
RCP8.5	Temperatura media MAM (°C)	2041-2070	↑	+1.7
RCP8.5	Temperatura media JJA (°C)	2041-2070	↑	+2.4
RCP8.5	Temperatura media SON (°C)	2041-2070	↑	+2.4
RCP8.5	Temperatura media annua (°C)	2041-2070	↑	+2.1

4 GLOSSARIO

Downscaling. Processo matematico che permette di descrivere le conseguenze locali del cambiamento globale risultante da modelli numerici generali.

Indicatori climatici. L'insieme dei parametri sintetici, derivanti da una o più grandezze meteorologiche fondamentali misurabili (temperatura, precipitazione, vento, etc..) individuati allo scopo di mettere in luce aspetti significativi dell'andamento medio meteorologico in una data zona, evidenziando le eventuali variazioni sul lungo periodo.

Modelli numerici di circolazione. Altrimenti detti *Circulation Models* (CM), sono un tipo di modello climatico. Si dividono in modelli numerici generali (*General Circulation Models*, GCMs) e in modelli numerici regionali (*Regional Circulation Models*, RCMs).

Modello climatico. Rappresentazione numerica del sistema climatico basata sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche delle sue componenti, sulle loro interazioni e processi di feedback, tenendo in considerazione alcune delle loro proprietà conosciute. I modelli climatici sono impiegati come strumenti di ricerca per studiare e simulare il clima, o con finalità operative, incluse le previsioni climatiche su base mensile, stagionale e interannuale.

Scenario di emissione. Rappresentazione plausibile del futuro sviluppo delle emissioni di sostanze clima alteranti e radiativamente attive (per esempio, gas serra e aerosol). Tale rappresentazione è in genere basata su assunzioni relative a diverse forzanti (quali sviluppo demografico e socio-economico, cambiamenti tecnologici, ecc.) e le loro relazioni chiave. Gli scenari di concentrazione, derivati dagli scenari di emissione, sono impiegati come input dei modelli climatici, per vincolare le proiezioni climatiche.

5 BIBLIOGRAFIA

- Agrillo, G., Bonati, V., 2013. Atlante Climatico della Liguria. ARPAL-Centro Funzionale della Regione Liguria.
- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6, 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Alexandersson, H., Moberg, A., 1997. HOMOGENIZATION OF SWEDISH TEMPERATURE DATA. PART I: HOMOGENEITY TEST FOR LINEAR TRENDS. *International Journal of Climatology* 17, 25-34. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199701\)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J)
- Bachner, S., Kapala, A., Simmer, C., 2008. Evaluation of daily precipitation characteristics in the CLM and their sensitivity to parameterizations. *Meteorologische Zeitschrift* 17, 407-419. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0300>
- Bucchignani, E., Montesarchio, M., Zollo, A.L., Mercogliano, P., 2016. High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century: CLIMATE SIMULATIONS WITH COSMO-CLM OVER ITALY. *International Journal of Climatology* 36, 735-756. <https://doi.org/10.1002/joc.4379>
- Christensen, O.B., Drews, M., Christensen, J.H., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I., Rinke, A., 2006. The HIRHAM regional climate model version 5 (β). Technical Report 6-17.
- Colin, J., Déqué, M., Radu, R., Somot, S., 2010. Sensitivity study of heavy precipitation in Limited Area Model climate simulations: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 62, 591-604. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00467.x>
- Field, C.B., Barros, V.R., Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.), 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, NY.
- Hayslett, H.T., 2001. Statistics made simple. Broadway Books, New York.
- Herrmann, M., Somot, S., Calmanti, S., Dubois, C., Sevault, F., 2011. Representation of spatial and temporal variability of daily wind speed and of intense wind events over the Mediterranean Sea using dynamical downscaling: impact of the regional climate model configuration. *Natural Hazards and Earth System Science* 11, 1983-2001. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1983-2011>
- Hewitt, C.D., 2004. Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 85, 566-566. <https://doi.org/10.1029/2004EO520005>
- Isotta, F.A., Frei, C., Weilguni, V., Perčec Tadić, M., Lassègues, P., Rudolf, B., Pavan, V., Cacciamani, C., Antolini, G., Ratto, S.M., Munari, M., Micheletti, S., Bonati, V., Lussana, C., Ronchi, C., Panettieri, E., Marigo, G., Vertačnik, G., 2014. The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data: CLIMATE OF DAILY PRECIPITATION IN THE ALPS. *International Journal of Climatology* 34, 1657-1675. <https://doi.org/10.1002/joc.3794>
- Jacob, D., Elizalde, A., Haensler, A., Hagemann, S., Kumar, P., Podzun, R., Rechid, D., Remedio, A.R., Saeed, F., Sieck, K., Teichmann, C., Wilhelm, C., 2012. Assessing the Transferability of the Regional Climate Model REMO to Different COordinated Regional Climate Downscaling EXperiment (CORDEX) Regions. *Atmosphere* 3, 181-199. <https://doi.org/10.3390/atmos3010181>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsman, A., Martin, E., Meijgaard, E. van, Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change

- projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14, 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., 2014. Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development* 7, 1297-1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>
- Kupiainen, M., Jansson, C., Samuelsson, P., Jones, C., Willén, U., Wang, S., Döscher, R., 2018. Rossby Centre regional atmospheric model, RCA4 | SMHI [WWW Document]. URL <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/climate-research-rossby-centre2-552/rossby-centre-regional-atmospheric-model-rca4-1.16562> (accessed 7.30.18).
- Meijgaard, E. van, 2012. Refinement and application of a regional atmospheric model for climate scenario calculations of Western Europe. Programme Office Climate changes Spatial Planning, Nieuwegein.
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., Vuuren, D.P.P. van, 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109, 213. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- Metzger M. J., Bunce R. G. H., Jongman R. H. G., Mücher C. A., Watkins J. W., 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14, 549-563. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00190.x>
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Grubler, A., Riahi, K., Roehrl, R., Rogner, H.-H., Victor, N., 2000. Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- Rockel, B., Castro, C.L., Pielke, R.A., von Storch, H., Leoncini, G., 2008. Dynamical downscaling: Assessment of model system dependent retained and added variability for two different regional climate models. *Journal of Geophysical Research* 113. <https://doi.org/10.1029/2007JD009461>
- Rockel, B., Geyer, B., 2008a. The performance of the regional climate model CLM in different climate regions, based on the example of precipitation. *Meteorologische Zeitschrift* 17, 487-498. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0297>
- Rockel, B., Geyer, B., 2008b. The performance of the regional climate model CLM in different climate regions, based on the example of precipitation. *Meteorologische Zeitschrift* 17, 487-498. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0297>
- Rogelj, J., Meinshausen, M., Knutti, R., 2012. Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nature Climate Change* 2, 248-253. <https://doi.org/10.1038/nclimate1385>
- Samuelsson, P., Jones, C.G., Will'En, U., Ullerstig, A., Gollvik, S., Hansson, U., Jansson, E., Kjellstro"m, C., Nikulin, G., Wyser, K., 2011. The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 63, 4-23. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00478.x>
- Scoccimarro, E., Gualdi, S., Bellucci, A., Sanna, A., Giuseppe Fogli, P., Manzini, E., Vichi, M., Oddo, P., Navarra, A., 2011. Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High-Resolution Coupled General Circulation Model. *J. Climate* 24, 4368-4384. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4104.1>
- Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., Huang, X.-Y., Duda, M., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. UCAR/NCAR. <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

- Tuomenvirta, H., 2002. Homogeneity testing and adjustment of climatic time series in Finland. *Geophysica* 38, 15-41.
- Van der Linden, P., Mitchell, editors, JFB, 2009. ENSEMBLES: Climate change and its impacts-Summary of research and results from the ENSEMBLES project.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D., Belda, M., Colette, A., Déqué, M., Fernández, J., García-Díez, M., Goergen, K., Güttler, I., Halenka, T., Karacostas, T., Katragkou, E., Keuler, K., Kotlarski, S., Mayer, S., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Patarčić, M., Scinocca, J., Sobolowski, S., Suklitsch, M., Teichmann, C., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., Yiou, P., 2013. The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project. *Climate Dynamics* 41, 2555-2575. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1714-z>
- Welch, B.L., 1947. The Generalization of 'Student's' Problem when Several Different Population Variances are Involved. *Biometrika* 34, 28. <https://doi.org/10.2307/2332510>
- Zollo, A.L., Rillo, V., Bucchignani, E., Montesarchio, M., Mercogliano, P., 2016. Extreme temperature and precipitation events over Italy: assessment of high-resolution simulations with COSMO-CLM and future scenarios: ANALYSIS AND PROJECTIONS OF CLIMATE EXTREMES OVER ITALY. *International Journal of Climatology* 36, 987-1004. <https://doi.org/10.1002/joc.4401>



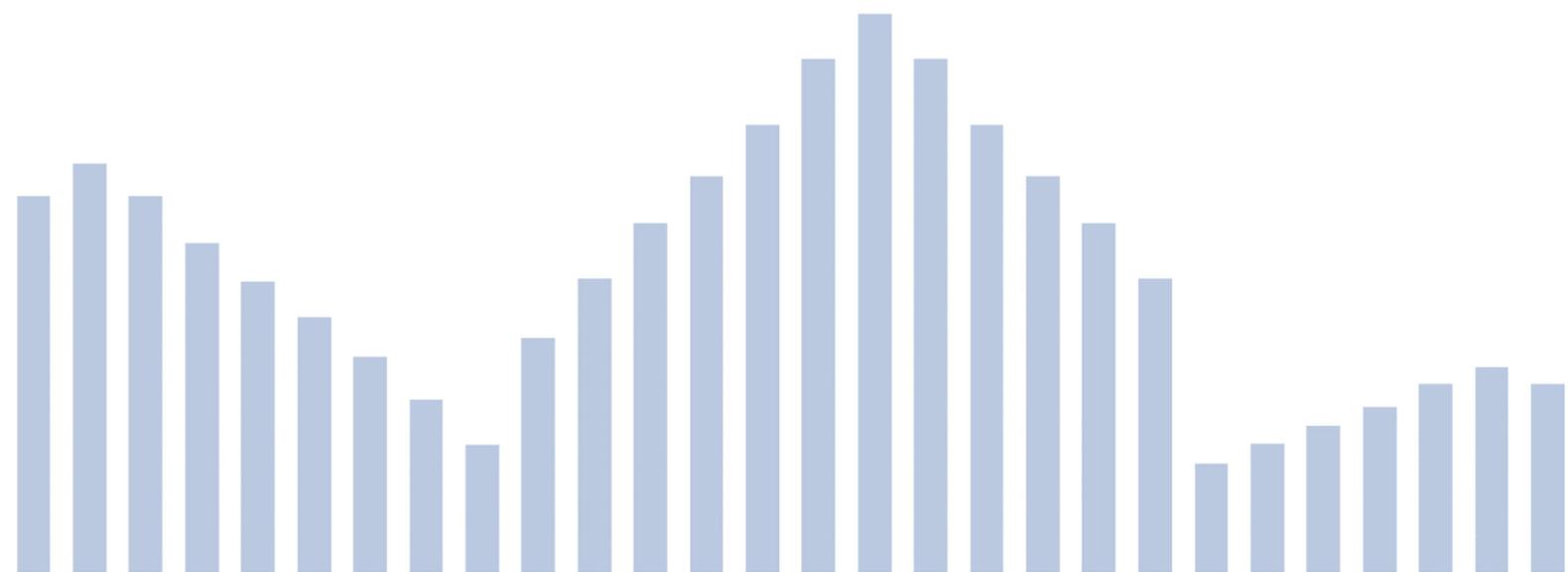
Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Integrazione profilo climatico locale

PARTNER: COMUNE DELLA SPEZIA



@ADAPTmaritime



www.interreg-maritime.eu/adapt



@ADAPT_maritime

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



AUTORI

Mauro Rossi

Marco Donnini

Stefano Luigi Gariano

Stefania Camici

Francesca Ardizzone

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica



INDICE

AUTORI.....	2
INDICE.....	3
LISTA FIGURE.....	4
LISTA TABELLE.....	6
LISTA ACRONIMI.....	7
1 INTRODUZIONE.....	8
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	10
3 RICOSTRUZIONE DATI MANCANTI.....	12
4 VARIABILITÀ CLIMATICA OSSERVATA.....	14
5 SCENARI CLIMATICI DISPONIBILI.....	28
6 CONCLUSIONI.....	44
7 BIBLIOGRAFIA.....	46
8 GLOSSARIO.....	48

LISTA FIGURE

Figura 2.1 Principali lineamenti orografico del territorio comunale. estratto dal piano urbanistico comunale (relazione generale)	11
Figura 4.1 Localizzazione delle stazioni di misura di La Spezia e Sarzana.....	14
Figura 4.2 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di precipitazione.....	16
Figura 4.3 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di tmin	17
Figura 4.4 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di Tmax	17
Figura 4.5 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di precipitazione	18
Figura 4.6 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di tmin.....	18
Figura 4.7 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di tmax.....	19
Figura 4.8 Andamento della media della temperatura minima (linea blu) e della temperatura massima (linea rossa) mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile.	21
Figura 4.9 Andamento della media della precipitazione cumulata mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile.....	21
Figura 4.10 Andamento delle medie stagionali della temperatura minima (linea blu) e della temperatura massima (linea rossa). L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione stagionale.	22
Figura 4.11 Andamento della media della precipitazione cumulata stagionale. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione stagionale.....	22
Figura 4.12 Serie temporale annuale della pioggia (i valori di pioggia pari a zero sono stati esclusi).	23
Figura 4.13 Serie temporale annuale della pioggia (i valori di pioggia pari a zero sono stati inclusi).24	24
Figura 4.14 Serie temporale annuale della temperatura massima (tmax, linea rossa) e della temperatura minima (tmin, linea blu). La linea di trend è riportata con una linea nera tratteggiata.....	24
Figura 4.15 Andamento temporale dell'anomalia di temperatura massima (tmax, linea rossa) e di temperatura minima (tmin, linea blu) rispetto al valore medio sul periodo di analisi per la stazione di La Spezia. La linea di trend è riportata con una linea nera tratteggiata.....	25
Figura 5.1 Anomalie degli indicatori di temperatura per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.....	31
Figura 5.2 Anomalie degli indicatori di precipitazione per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.....	32
Figura 5.3 Anomalia stagionale dell'indicatore di precipitazione PRCTOT per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Legenda: DGF, dicembre-gennaio-febbraio; MAM, marzo-aprile-maggio; GLA, giugno-luglio-agosto; SON, settembre-ottobre-novembre.....	33
<i>Figura 5.4 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore SU, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.5 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore TR, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.....</i>	<i>35</i>

Figura 5.6 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore r10, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.36

Figura 5.7 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore RX1DAY, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.37

Figura 5.8 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore RR1, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.38

Figura 5.9 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore PRCPTOT, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.39

Figura 5.10 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.40

Figura 5.11 Proiezioni climatiche della stagione primaverile (MAM) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.41

Figura 5.12 Proiezioni climatiche della stagione estiva (GLA) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.42

Figura 5.13 Proiezioni climatiche della stagione primaverile (SON) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.43



LISTA TABELLE

Tabella 3-1 Informazioni relative alle serie di dati della stazione di La Spezia e alla loro ricostruzione.	12
Tabella 3-2 Percentuale dei dati nella serie di dati della stazione di La Spezia prima e dopo la ricostruzione utilizzando la stazione di misura di Sarzana.	13
Tabella 4-1 Serie ricostruita per la stazione di La Spezia. Le percentuali sono relative ai dati presenti. I valori di percentuale di dati presenti inferiori al 75% (i.e. 25% dati mancanti) sono evidenziati in rosso. Gli anni contraddistinti dall'asterisco (*) sono quelli con percentuale dei dati mancanti di almeno una delle variabili superiore al 25%.	15
Tabella 4-2 Valori medi di precipitazione, di temperatura massima e di temperatura minima e i relativi percentili (q5=quinto percentile, q95=novantacinquesimo percentile) a scala stagionale.	20
Tabella 4-3 Valori medi di precipitazione, di temperatura massima e di temperatura minima e i relativi percentili (q5=quinto percentile, q95=novantacinquesimo percentile) a scala annuale.	20
Tabella 4-4 Calcolo dei percentili dei valori di precipitazione ("prec"=inclusi i valori di precipitazione pari a 0, "prec no zero"=esclusi i valori di precipitazione pari a 0), e di temperatura minima e massima (tmin e di tmax).	26
Tabella 4-5 Definizione degli indicatori utilizzati per caratterizzare gli eventi estremi.	26
Tabella 4-6 Valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 1981-2010 (gg=giorni).	27
Tabella 5-1 Anomalie (in termini di media delle anomalie dei diversi modelli) stagionali di temperatura (media, minima e massima, in °C) e precipitazione (%) per i due scenari e i tre periodi di interesse, per il box che include il comune di La Spezia.	30
Tabella 5-2 Trend nei diversi indici climatici. I valori contrassegnati con la lettera (S) sono quelli significativi.	43

LISTA ACRONIMI

ACRONIMO	SIGNIFICATO
ADAPT	<i>Assistere l'aDAttamento ai cambiamenti climatici dei sistemi urbani dello sPazio Transfrontaliero</i>
CUSUM	<i>CUMulative SUM</i>
DGF	<i>Decembre Gennaio Febbraio</i>
DJF	<i>December January February</i>
E-OBS	<i>European OBSservational dataset</i>
ETCCDI	<i>Expert Team on Climate Change Detection and Indices</i>
EURO-CORDEX	<i>COoRdinated Downscaling EXperiment - EUROpean domain</i>
GCM	<i>General Circulation Model</i>
GLA	<i>Giugno Luglio Agosto</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISPRA	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</i>
JJA	<i>June July August</i>
MAM	<i>March April May / Marzo Aprile Maggio</i>
RCM	<i>Regional Circulation Model</i>
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
SCIA	<i>Sistema nazionale per la raccolta, elaborazione e diffusione di dati Climatici di Interesse Ambientale</i>
SON	<i>September October November / Settembre Ottobre Novembre</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

1 INTRODUZIONE

Il presente documento denominato “Integrazione Profilo Climatico Locale” è stato redatto nell’ambito del progetto ADAPT “Assistere l’adattamento ai cambiamenti climatici dei sistemi urbani dello sPazio Transfrontaliero”, e integra il documento “Profilo Climatico Locale”. In particolare tale documento ha lo scopo di descrivere il profilo climatico locale del comune di La Spezia, sulla base delle osservazioni e delle proiezioni climatiche attualmente disponibili.

Tale analisi del clima permette sia di caratterizzare la variabilità climatica locale osservata sia, nelle fasi successive dello studio, di valutare le anomalie climatiche attese in futuro localmente per effetto dei cambiamenti climatici.

Per quanto riguarda la variazione del clima su scala globale, la comunità scientifica ritiene “estremamente probabile” che il riscaldamento dell’aria e degli oceani, la riduzione dell’estensione e volume dei ghiacciai, l’innalzamento del livello del mare e la diminuzione della copertura nevosa nell’emisfero nord abbiamo avuto come causa dominante l’attività antropogenica (IPCC, 2014). Lo studio di tale variazione non sarà oggetto del presente documento che invece risulta focalizzato sull’analisi del clima osservato e dei suoi scenari di cambiamento sulla città di interesse.

Lo studio del clima implica, per definizione, l’utilizzo di lunghe scale temporali; in particolare, l’organizzazione meteorologica mondiale (WMO, *World Meteorological Organization*) stabilisce in 30 anni (periodo abbastanza lungo da filtrare eventuali variazioni o anomalie annuali, ma anche abbastanza breve da essere in grado di mostrare le tendenze climatiche più lunghe; WMO, 2007) la lunghezza standard su cui effettuare delle analisi statistiche che possano essere considerate rappresentative del clima. Per questo motivo, le variazioni del clima futuro rispetto al clima presente (o di riferimento) sono ottenute confrontando periodi di 30 anni.

Nella sezione “Variabilità climatica osservata” sono descritti i risultati dell’analisi dei dati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione relativi alla stazione di misura di La Spezia relativamente al periodo di osservazione 1981-2010. La serie temporale per la stazione di La Spezia è stata in parte ricostruita, tramite elaborazione statistica, per ottenere una serie completa con le misure di temperatura e precipitazione registrate dalle stazioni di Sarzana e Levante (Regione Liguria, 2018; Faccini, 2018). Questa elaborazione statistica è stata descritta nel capitolo “Ricostruzione dati mancanti”.

La fonte dei dati è il Sistema nazionale per la raccolta, l’elaborazione e la diffusione dei dati Climatici di Interesse Ambientale (SCIA) dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) accessibile al sito http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/Home_new.html.

L’analisi presentata descrive la variabilità temporale, nel periodo sopra indicato, sia dei valori medi che estremi di precipitazione e temperatura. Gli estremi sono definiti come quei valori delle variabili atmosferiche che differiscono dalla media climatologica e sono definiti attraverso le soglie (ad esempio percentili, minimi, massimi). Diversi studi mostrano che il cambiamento climatico comporta una variazione anche nella frequenza e gravità degli eventi estremi (Seneviratne et al. 2012), dalla cui variazione dipende la maggior parte dei costi sociali ed economici associati ai cambiamenti climatici.

In aggiunta alla descrizione del clima locale osservato, per quanto riguarda sia valori medi che estremi, sono presentate, sulla base di differenti scenari climatici, le anomalie climatiche attese per gli indicatori selezionati, per tre trentenni futuri di interesse (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

In questo lavoro, le anomalie degli indicatori selezionati sono state calcolate, considerando i due diversi scenari RCP4.5 e RCP8.5, a partire dai dati simulati dei modelli climatici regionali attualmente disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX alla più alta risoluzione orizzontale di circa 12 km. Maggiori informazioni riguardo l'iniziativa EURO-CORDEX sono disponibili al seguente link <http://www.euro-cordex.net>.

I modelli climatici regionali consentono di aumentare la risoluzione spazio-temporale dei modelli di circolazione globale e di formulare scenari di cambiamento climatico più dettagliati, sebbene permangono sempre, per diverse cause (Collins and Knight, 2007) un certo grado di incertezza. In particolare, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura, e ancora più incerte sono le stime delle variazioni degli eventi estremi (IPCC, 2014). L'utilizzo di insiemi (*ensemble*) di proiezioni future da diversi modelli (*multi-model ensemble*), sebbene più oneroso dal punto di vista metodologico e computazionale, permette di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse (e.g., Villani et al., 2015).

In questo lavoro, le analisi della variabilità climatica futura sono state elaborate usando un approccio multi-model, come già fatto in diversi e recenti lavori di letteratura (Jacob et al., 2014; Kotlarski et al., 2014).

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La regione Liguria presenta una topografia complessa con rilievi ripidi e altitudini superiori a 2000 metri nella porzione di Ponente e 1800 metri nella porzione di Levante. Il terreno degrada rapidamente verso il mare in soli 5 - 20 km in media e le valli corrono parallele con andamento perpendicolare rispetto alla costa. La combinazione di queste caratteristiche topografiche offre una varietà di zone climatiche (costiere, interne e montane) in un'area relativamente ristretta. Oltre a queste caratteristiche morfologiche, la circolazione atmosferica e le sue interazioni con l'arco alpino e alpino-appenninico che circonda il Mar Ligure, determina altre differenze climatiche tra i settori occidentale, centrale ed orientale della Liguria (Sacchini et al., 2012).

La Riviera Ligure di Levante è caratterizzata da colline e montagne che si affacciano sul Mar Ligure, raggiungendo altitudini di 800 m slm. Queste caratteristiche originano un paesaggio molto particolare, con antichi terrazzamenti dedicati all'attività agricola, situati su ripidi pendii sul mare. Ciò influenza in modo significativo il microclima locale, con un valore relativamente elevato di precipitazioni medie annue (precipitazioni medie annuali circa pari a 1200-1500 mm) e il verificarsi di forti tempeste di pioggia. In molti casi, tali tempeste provocano molte frane superficiali, causando danni alla popolazione e al territorio, come ad esempio gli eventi del 10 settembre 1981 e del 25 ottobre 2011 (Giannecchini et al., 2015). Tali fenomeni temporaleschi di forte intensità, di natura convettiva, sono caratteristici dei mesi autunnali liguri e sono causati dalla particolare condizione meteorologica che insiste sul Golfo ligure e colpiscono con severi effetti al suolo e danni economici le aree a forte urbanizzazione come riportato da Faccini et al. (2017).

Il comune della Spezia è sito nella Riviera Ligure di Levante, al confine con la regione Toscana. Le informazioni di seguito riportate sono derivate dal Piano Urbanistico Comunale del Comune della Spezia (<http://www.comune.laspezia.it/>).

Il comune ha un'estensione di 51,48 km² e si estende con una caratteristica forma a ferro di cavallo attorno all'omonimo golfo. Il territorio comunale, lungo la costa occidentale, si affaccia sul Mar Ligure per un tratto costiero di 3,5 km. Da qui il limite comunale va a coincidere con la dorsale di M. Verrugoli (745 m s.l.m.) – M. Parodi (673 m s.l.m.), e M. Tenero (256 m s.l.m.) entrando quindi in Val Durasca dove segue il corso del T. Durasca (affluente di destra del F. Vara) per circa 2,5 km. Infine prosegue verso M. Valleriano (345 m s.l.m.) chiudendo il proprio perimetro verso est attraverso gli abitati di Carozzo, Pitelli e Muggiano.

La morfologia del territorio è caratterizzata da tre dorsali principali costituite da rilievi collinari fino ad alto collinari. Quella più occidentale corre con direzione nordovest-sudest a partire dal M. Verrugoli, alla quota di 745 m s.l.m. e prosegue verso sudest scendendo di quota fino a M. Fraschi (516 m s.l.m.) e M. Castellana (495 m s.l.m.). Questi rilievi separano i bacini idrografici che drenano direttamente nel Mar Ligure da quelli che drenano verso il Golfo della Spezia.

Un altro importante elemento fisiografico è la dorsale che da M. Parodi attraverso Marinasco, Forti di Castellazzo, il M. Albano e il M. Valeriano, con andamento sudovest nordest ed una caratteristica geometria imposta dai due bacini idrografici principali che drenano verso la città della Spezia (il bacino del T. Colombaro – Canale Lagora ad ovest ed il bacino del T. Dorgia ad est) ed il bacino del Fosso di Marinasco – T. Durasco che invece ha un drenaggio verso nordest andando ad immettersi nel F. Vara in località Piana di Follo – Piano di Valeriano (fuori comune della Spezia). Tali rilievi mostrano pendenze piuttosto elevate, con valori medi sopra il 35% e solo nelle zone di raccordo con la pianura l'acclività scende al di sotto di tali valori. Isolati rilievi presentano sporadicamente acclività comprese tra il 20 e il 35%. I rilievi descritti costituiscono una cinta collinare continua attorno al Golfo della Spezia.

Il Golfo della Spezia costituisce una profonda insenatura che interrompe la continuità della linea di costa e rappresenta la porzione sommersa di una depressione morfologico - strutturale parallela al tratto terminale della Val di Magra. La morfologia pianeggiante della costa riparata del golfo ha condizionato lo sviluppo dell'area urbana, mentre lungo i versanti collinari si trovano sporadici insediamenti e case sparse in virtù delle aspre morfologie del territorio.

La Figura 2.1 mostra le caratteristiche orografiche del territorio comunale.

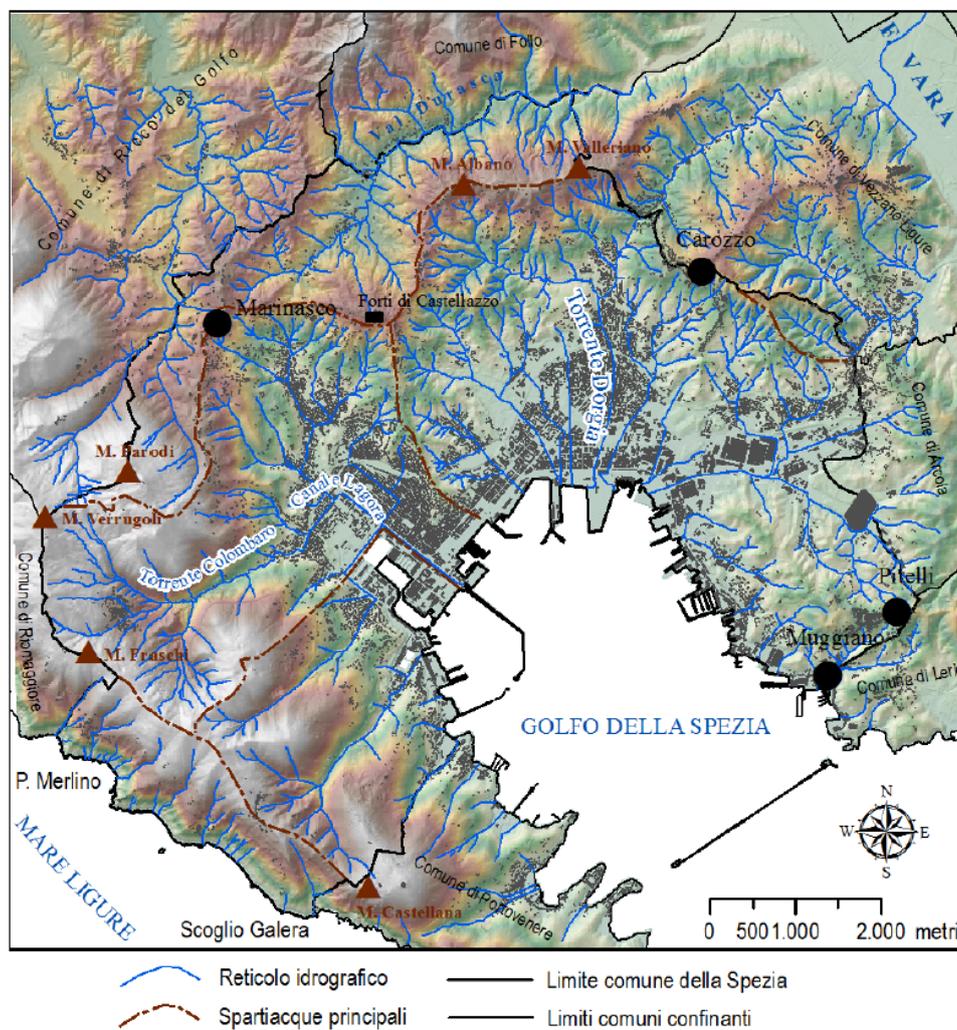


FIGURA 2.1 PRINCIPALI LINEAMENTI OROGRAFICO DEL TERRITORIO COMUNALE. ESTRATTO DAL PIANO URBANISTICO COMUNALE (RELAZIONE GENERALE)

Il reticolo idrografico ha uno sviluppo recente e presenta numerosi caratteri tipici dei bacini giovani con evidenze di fenomeni di catture fluviali, diversioni e arretramento delle testate di valle per erosione regressiva. Questi elementi caratterizzano i bacini in condizione di disequilibrio che evolvono verso configurazioni geomorfologiche di maggior stabilità mettendo in atto processi che alla scala umana portano a criticità sul territorio quali forti azioni erosive sui suoli. I drenaggi principali, nel territorio comunale, avvengono verso il Mar Ligure e verso l'interno del Golfo della Spezia, mentre una modesta porzione di territorio è interessata da drenaggi che afferiscono al bacino del T. Durasca, affluente di destra del F. Vara, a sua volta principale affluente del F. Magra.

Il Piano Urbanistico Comunale riconosce sul territorio spezzino, sei bacini principali: Canale Lagora, Torrente Biassa, Torrente Colombaro, Torrente Nuova Dorgia, Torrente Vecchia Dorgia, canale Fossamastra.

3 RICOSTRUZIONE DATI MANCANTI

Per le analisi a livello di singola stazione sono state utilizzate le serie storiche di precipitazione (prec), temperatura minima (tmin) e massima (tmax) della stazione di La Spezia. I dati presenti nelle serie coprono meno del 30% sia per quanto riguarda le precipitazioni che per quanto riguarda le temperature massime e minime, pertanto si è provveduto alla parziale ricostruzione dei dati mancanti mediante analisi di correlazione con gli omologhi dati della stazione meteorologica di Sarzana (Figura 4.1) (Regione Liguria, 2018). Per quanto riguarda le piogge, laddove la stazione di Sarzana presentava delle lacune, sono stati utilizzati i dati della stazione di Levanto (Faccini, 2018).

La Tabella 3-1 riporta informazioni relative alle serie di dati della stazione di La Spezia e alla loro ricostruzione. Nella sezione “serie ricostruita” sono segnalate le informazioni relative alla serie ricostruita e che è stata utilizzata per la redazione del profilo climatico locale. Nella sezione “serie originale” sono segnalate le informazioni relative alla serie originale per la stazione di La Spezia, infine nella sezione “dati ricostruiti” sono riportate le informazioni sui dati meteorologici ricostruiti utilizzando la serie pluviometrica e termometrica della stazione di misura di Sarzana e quella pluviometrica della stazione di Levanto.

Tabella 3-1 Informazioni relative alle serie di dati della stazione di La Spezia e alla loro ricostruzione.

SERIE RICOSTRUITA	
data_inizio	01/01/1981
data_fine	31/12/2010
giorni_totali	10957
giorni_dato_prec	10931
giorni_gap_prec	26
giorni_dato_tmin	10317
giorni_gap_tmin	640
giorni_dato_tmax	10319
giorni_gap_tmax	638
perc_prec	99.8 %
perc_tmin	94.2 %
perc_tmax	94.2 %
SERIE ORIGINALE	
giorni_dato_originale_prec	2888
giorni_dato_originale_tmin	2861
giorni_dato_originale_tmax	2860
perc_dato_originale_prec	26.4 %
perc_dato_originale_tmin	26.1 %
perc_dato_originale_tmax	26.1 %
DATI RICOSTRUITI	
giorni_ricostruiti_prec	8043
giorni_ricostruiti_tmin	7456
giorni_ricostruiti_tmax	7459
perc_ricostruiti_prec	73.4 %
perc_ricostruiti_tmin	68 %
perc_ricostruiti_tmax	68.1 %

La Tabella 3-2 riassume la percentuale dei dati delle serie della stazione di La Spezia prima e dopo la ricostruzione eseguita utilizzando i dati di temperatura e precipitazione della stazione di misura di Sarzana.

Tabella 3-2 Percentuale dei dati nella serie di dati della stazione di La Spezia prima e dopo la ricostruzione utilizzando la stazione di misura di Sarzana.

Variabile	% dato originale	% dato ricostruito
Precipitazione	26.4	99.8
Temperatura minima	26.1	94.2
Temperatura massima	26.1	94.2

4 VARIABILITÀ CLIMATICA OSSERVATA

Il comune di La Spezia, come riportato nell'Allegato 1 del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, attualmente in fase di approvazione (PNACC, 2017), risulta appartenere, sulla base del dataset osservato E-OBS (Haylock et al, 2000) alla Macroregione 1 - Prealpi e Appennino Settentrionale, caratterizzata da valori intermedi per quanto riguarda i valori cumulati delle precipitazioni invernali ed estive e da valori elevati, rispetto alle altre aree, per i fenomeni di precipitazione estremi (R20 e R95p).

Essendo rappresentativa di una risoluzione di circa 28 km, la climatologia descritta dal dataset E-OBS è in grado di individuare a livello di macroclima i *pattern* climatici prevalenti sul territorio nazionale, ma la caratterizzazione del clima locale necessita di analisi più mirate per la caratterizzazione di profili climatici locali.

Al fine di avere una miglior conoscenza degli aspetti più locali del clima di La Spezia, l'analisi delle condizioni climatiche sull'area di interesse è stata effettuata prendendo in considerazione i dati giornalieri di temperatura minima, massima e di precipitazione, registrati dalla stazione della stazione di La Spezia e della stazione di Sarzana e quelli di precipitazione della stazione di Levante (Figura 4.1).

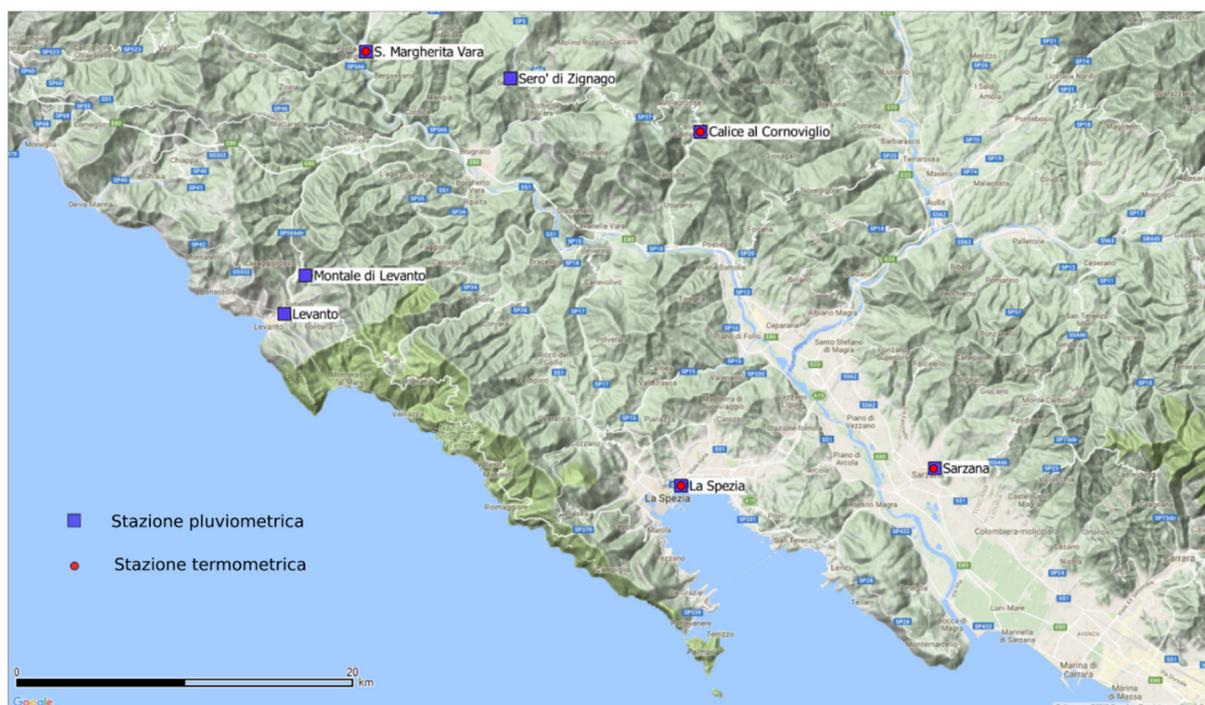


Figura 4.1 Localizzazione delle stazioni di misura di La Spezia e Sarzana.

Le serie di dati disponibili durante il periodo 1981-2010 sono state sottoposte ad un controllo di qualità e omogeneità che può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- **Analisi di completezza dei dati.** Per ogni risoluzione temporale, viene controllato la presenza di almeno il 75% di dati disponibili in quanto la presenza di *missing* (dati mancanti) può portare ad analisi poco significative, fortemente distorte e/o addirittura errate.

- **Individuazione e rimozione dei *breakpoint*.** Tale procedura, che consiste nell'individuare e rimuovere dalla serie dei dati osservati disomogeneità che sono la conseguenza di fattori esterni non climatici, è stata effettuata mediante due test non parametrici, quello di Pettitt (Pettitt, 1979) e quello del CUSUM (CUMulative SUM) (ISPRA, 2013).

Tali controlli sono fondamentali al fine di escludere eventuali cambiamenti climatici artificiali che si possono attribuire allo spostamento della stazione di misura, alla sostituzione della strumentazione, a cambiamenti nell'esposizione dello strumento o all'adozione di nuove procedure di elaborazione dei dati. Cambiamenti climatici artificiali possono essere fonte di disomogeneità che si manifestano come trend artificiale nella serie (ISPRA, 2013).

Tabella 4-1 Serie ricostruita per la stazione di La Spezia. Le percentuali sono relative ai dati presenti. I valori di percentuale di dati presenti inferiori al 75% (i.e. 25% dati mancanti) sono evidenziati in rosso. Gli anni contraddistinti dall'asterisco (*) sono quelli con percentuale dei dati mancanti di almeno una delle variabili superiore al 25%.

anno	Prec (giorni)	Tmin (giorni)	Tmax (giorni)	perc_prec (%)	perc_tmi n (%)	perc_tma x (%)
1981	365	365	365	100	100	100
1982	365	365	365	100	100	100
1983	365	365	365	100	100	100
1984	366	366	366	100	100	100
1985	365	365	365	100	100	100
1986	365	365	365	100	100	100
1987	365	365	365	100	100	100
1988	366	366	366	100	100	100
1989	365	362	363	100	99.2	99.5
1990	365	365	365	100	100	100
1991	365	364	365	100	99.7	100
1992	366	359	359	100	98.1	98.1
1993	365	365	365	100	100	100
1994	365	365	365	100	100	100
1995	365	365	365	100	100	100
1996	366	366	366	100	100	100
1997	365	365	365	100	100	100
1998	365	364	364	100	99.7	99.7
1999*	365	218	218	100	59.7	59.7
2000	366	365	365	100	99.7	99.7
2001	365	364	364	100	99.7	99.7
2002	340	335	335	93.2	91.8	91.8
2003	365	362	362	100	99.2	99.2
2004	366	366	366	100	100	100
2005	365	354	354	100	97.0	97.0
2006	365	364	364	100	99.7	99.7
2007*	364	253	253	99.7	69.3	69.3
2008*	366	259	259	100	70.8	70.8
2009*	365	258	258	100	70.7	70.7
2010*	365	257	257	100	70.4	70.4

La Tabella 4-1 riporta le informazioni relative alle serie ricostruite di dati della stazione di La Spezia (la cui descrizione è sintetizzata nella Tabella 3-1). I valori di percentuale di dati presenti inferiori al 75% (i.e. 25% dati mancanti) sono evidenziati in rosso. Per le serie di temperatura, i 5 anni con percentuale dei dati mancanti superiore al 25% (1999, 2007, 2008, 2009, 2010) sono stati esclusi dalle analisi effettuate per la redazione del profilo climatico locale e per il calcolo degli indicatori.

I breakpoint sono stati individuati e rimossi mediante test di Pettitt (Pettitt, 1979) e del CUSUM (CUMulative SUM). Il test di Pettitt investiga la presenza di "change point". Nel test, H0 (ipotesi nulla) corrisponde all'assenza di punti di cambiamento. Per la serie di pioggia (Figura 4.2), dal momento che il p-value è maggiore di 0.05, non si può rigettare l'ipotesi nulla che siano assenti punti di cambiamento. Per la serie di temperatura minima tmin (Figura 4.3), dal momento che il p-value è minore di 0.05, si può rifiutare l'ipotesi nulla che siano assenti punti di cambiamento. Concludiamo quindi che c'è un cambiamento, che in base a valore k e come risulta anche dal grafico corrisponde al 2000. Per la serie di temperatura massima tmax (Figura 4.4), dal momento che il p-value è maggiore di 0.05, non si può rigettare l'ipotesi nulla e concludere che sono assenti punti di cambiamento.

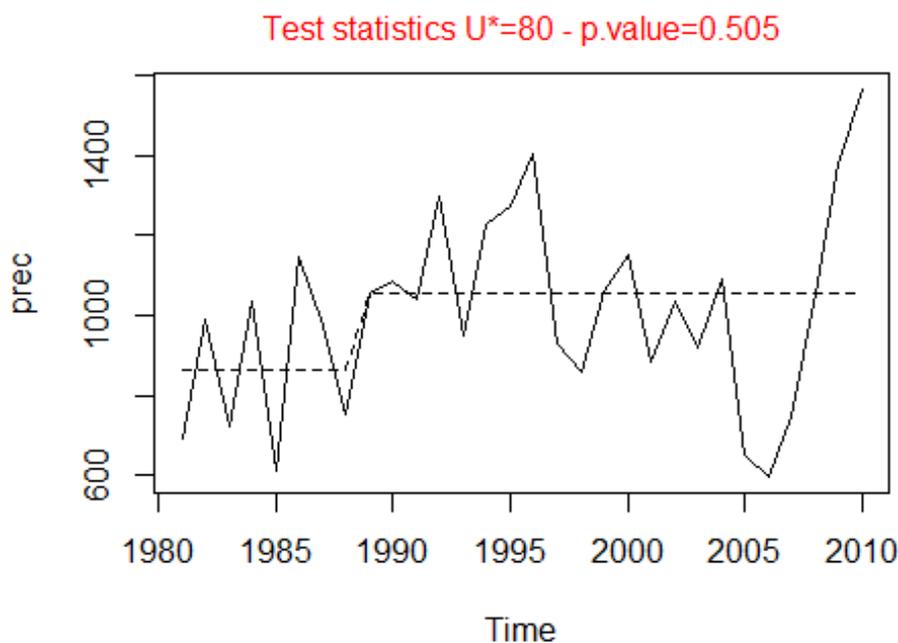


Figura 4.2 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di precipitazione

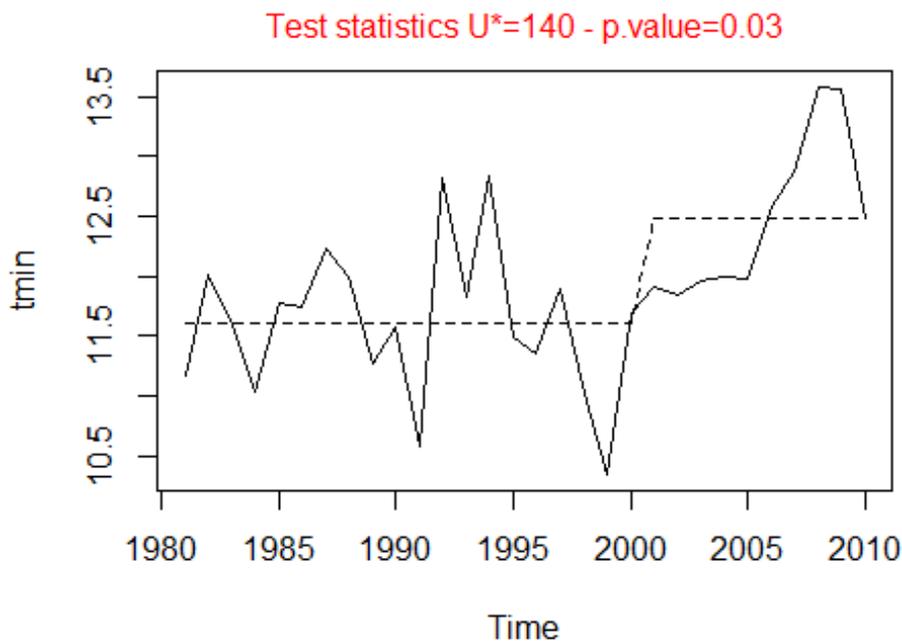


Figura 4.3 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di tmin

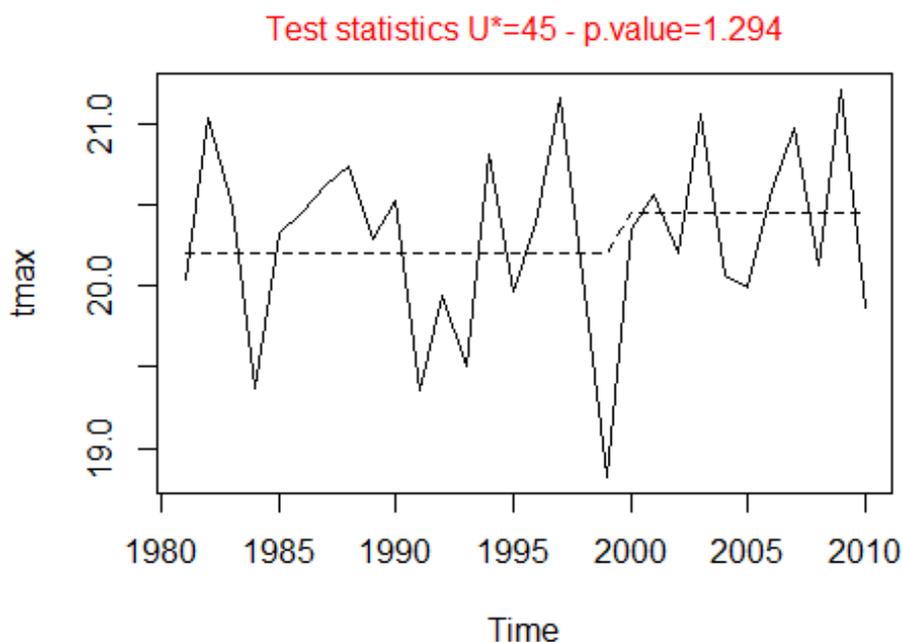


Figura 4.4 Risultato del test di Pettitt sulla serie di dati di Tmax

È stata poi eseguita l'analisi della presenza di *structural change* per la serie di pioggia con il metodo "Rec-CUSUM" (*Cumulative SUM of Recursive residuals*) di Brown et al. (1975) utilizzando un modello a parametro costante per fittare i residui (Figura 4.5). Nel test, H0 (ipotesi nulla) corrisponde a "nessun cambiamento strutturale". Dal momento che il *p-value* è maggiore di 0.05, non si può rigettare l'ipotesi nulla che non ci siano cambiamenti strutturali. L'analisi della presenza di *structural change* per la serie di tmin (Figura 4.6) con un *p-value* maggiore di 0.05, mostra che

non si può rigettare l'ipotesi nulla che non ci siano cambiamenti strutturali. In maniera analoga, l'analisi della presenza di *structural change* per la serie di tmax (Figura 4.7) con un p-value maggiore di 0.05, mostra che non si può rigettare l'ipotesi nulla che non ci siano cambiamenti strutturali. Sintetizzando le tre serie non sono caratterizzate da un *structural change*.

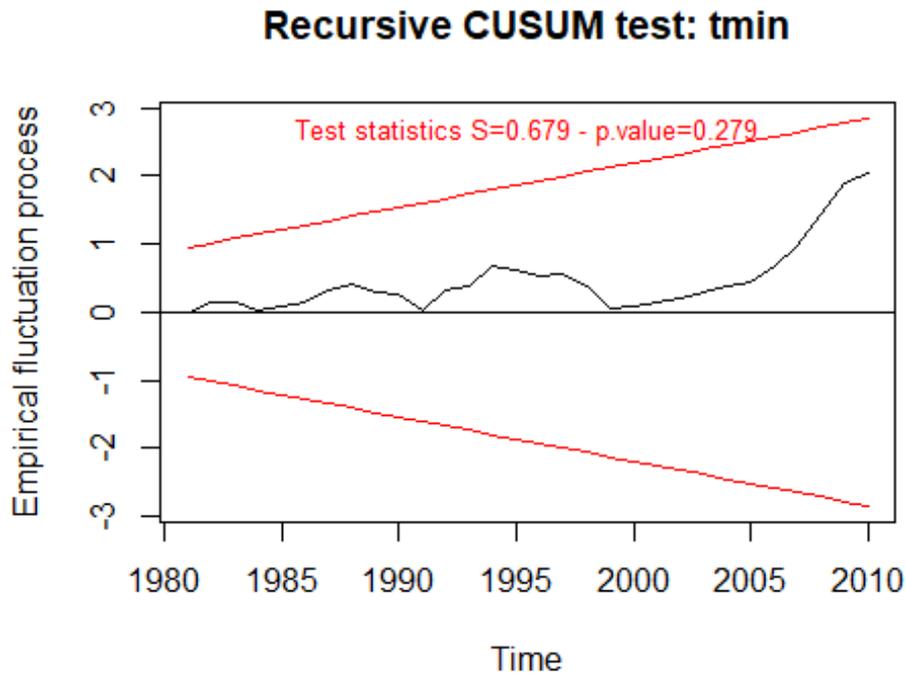


Figura 4.5 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di precipitazione

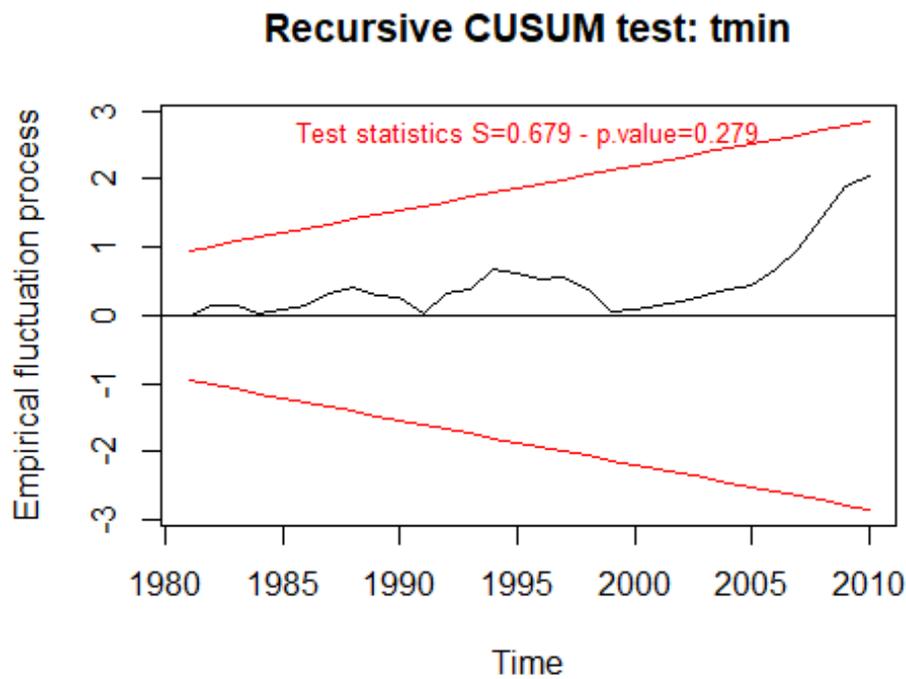


Figura 4.6 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di tmin

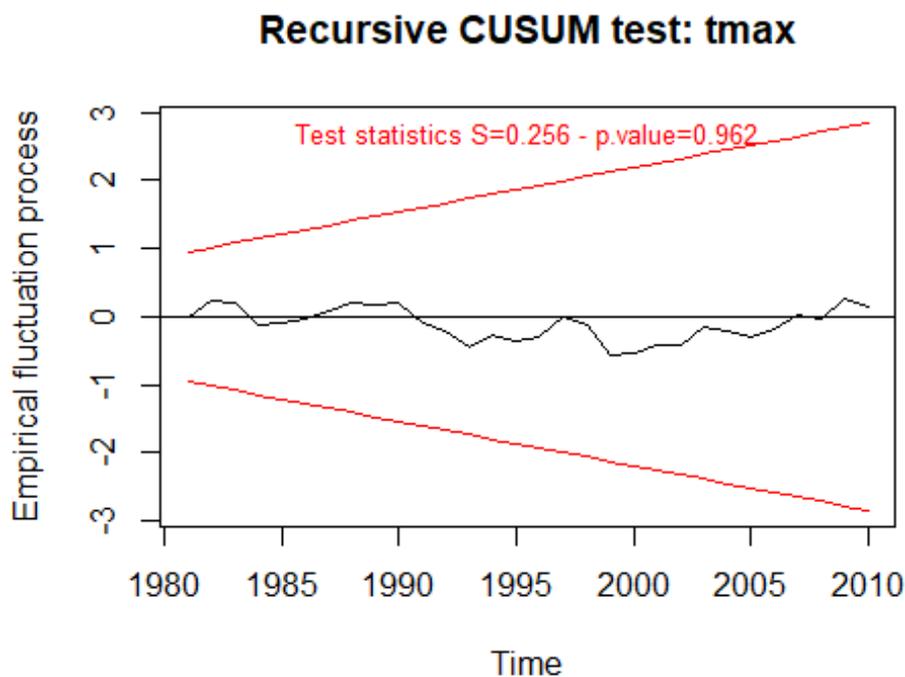


Figura 4.7 Risultato del test di CUSUM sulla serie di dati di tmax.

A valle dei controlli di qualità e omogeneità dei dati della serie ricostruita di La Spezia, per descrivere la variabilità climatica osservata sono state eseguite diverse analisi statistiche e climatiche. In particolare, vengono mostrati i principali risultati:

- media mensile, sul periodo di riferimento, di temperatura e di precipitazione (ciclo stagionale) con la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile;
- valori medi (annuali e stagionali) di temperatura e di precipitazione cumulata;
- 95° e 99° percentile della precipitazione giornaliera e della temperatura massima giornaliera e 1° e 5° percentile della temperatura minima giornaliera;
- serie temporali annuali di temperatura e precipitazione con trend e valutazione della significatività statistica tramite il Test di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1962; Hirsch et al., 1982), necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrecita significativo;
- serie temporali annuali di indicatori di temperatura e precipitazione con trend e valutazione della significatività statistica tramite il Test di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1962; Hirsch et al., 1982), necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrecita significativo.

La Tabella 4-2 e la Tabella 4-3 mostrano i valori medi di precipitazione, di temperatura massima e di temperatura minima e i relativi percentili (5° e 95°) rispettivamente a scala stagionale e annuale.

Tabella 4-2 Valori medi di precipitazione, di temperatura massima e di temperatura minima e i relativi percentili (q5=quinto percentile, q95=novantacinquesimo percentile) a scala stagionale.

stagione	Media prec	q5 prec	q95 prec	Media tmin	q5 tmin	q95 tmin	Media tmax	q5 tmax	q95 tmax
DGF (Dic-Gen-Feb)	279.8	120.2	499.1	5.4	3.7	6.5	12.7	11.6	13.8
MAM (Mar-Apr-Mag)	225.3	119.2	396.7	10.2	8.8	11.1	18.7	17.3	20.0
GLA (Giu-Lug-Ago)	122.3	35.5	228.5	18.4	17.7	19.5	28.6	27.8	29.5
SON (Set-Ott-Nov)	376.0	136.0	663.1	12.8	11.0	14.8	21.2	19.4	22.6

Tabella 4-3 Valori medi di precipitazione, di temperatura massima e di temperatura minima e i relativi percentili (q5=quinto percentile, q95=novantacinquesimo percentile) a scala annuale.

Media prec	q5 prec	q95 prec	Media tmin	q5 tmin	q95 tmin	Media tmax	q5 tmax	q95 tmax
999.8	628.8	1394.2	11.7	10.8	12.7	20.2	18.9	21.1

In Figura 4.8 è rappresentato l'andamento medio mensile della temperatura minima (in blue) e della temperatura massima (in rosso), mentre in Figura 4.9 l'andamento medio mensile della precipitazione cumulata. Questi valori sono stati calcolati sugli anni considerati validi (Tabella 4-1). Per ciascuna variabile è stata rappresentata anche la dispersione dei dati rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile. Il grafico in Figura 4.8 evidenzia che le temperature assumono valori più bassi nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre (tmin intorno a 5°C e tmax intorno ai 15°C); al contempo, i massimi valori sono registrati nei mesi di luglio e agosto (tmax intorno a 30°C e la tmin intorno ai 20°C).

Stazione di La Spezia

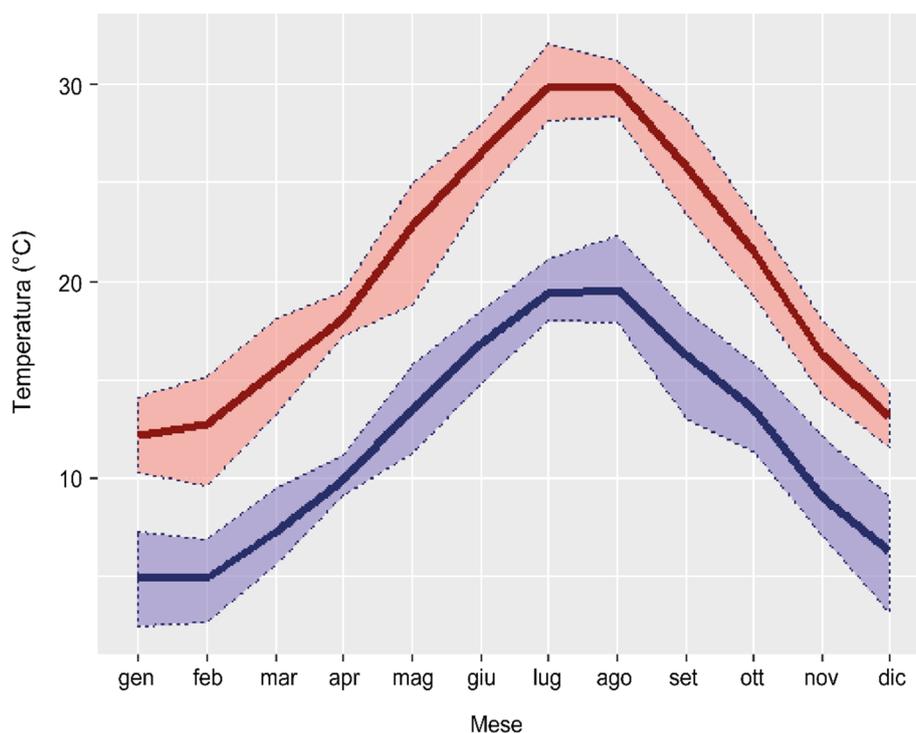


Figura 4.8 Andamento della media della temperatura minima (linea blu) e della temperatura massima (linea rossa) mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile.

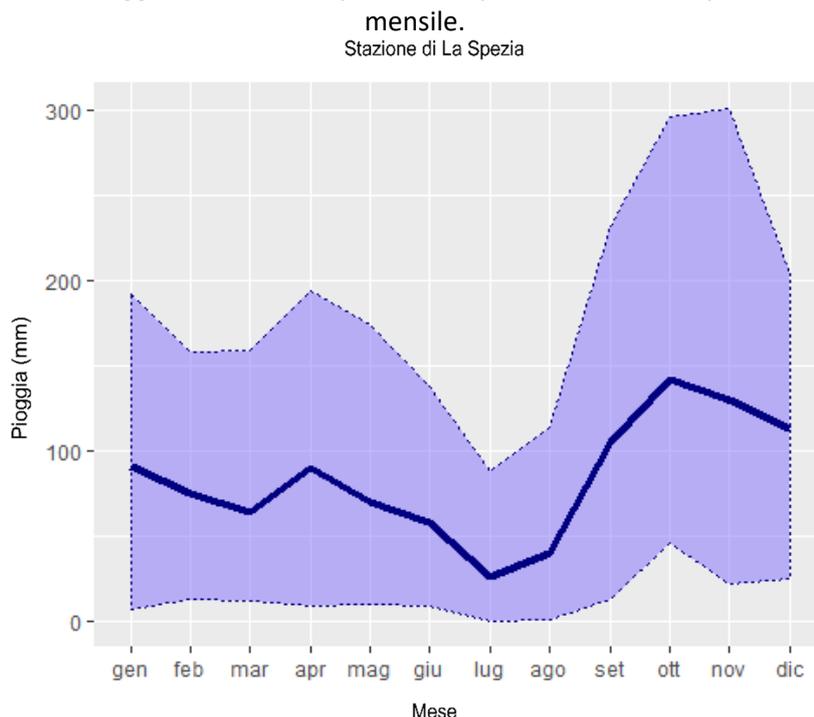


Figura 4.9 Andamento della media della precipitazione cumulata mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile.

Per quanto riguarda la precipitazione, in Figura 4.9 i valori riportati sono calcolati facendo la media dei valori della pioggia cumulata mensile. Per le precipitazioni, si osserva un picco significativo nel periodo ottobre/novembre (di circa 145 mm). Inoltre, tale periodo è caratterizzato dalla dispersione maggiore; con valori del 95° percentile di circa 300 mm e del 5° percentile di circa 25-45 mm. Nel mese di luglio si registrano i valori di pioggia più bassi intorno a circa 30 mm.

La Figura 4.10 e la Figura 4.11 riportano gli andamenti medi stagionali della temperatura massima e della temperatura minima e della media stagionale della pioggia cumulata. Si evidenzia un picco massimo di temperatura nei mesi estivi (giugno, luglio e agosto: GLA) ed un picco minimo di temperatura nei mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio: DGF). Per quanto riguarda le piogge, la Figura 4.11 mostra il massimo nei mesi autunnali (settembre, ottobre e novembre: SON) ed un minimo nei mesi estivi (GLA).

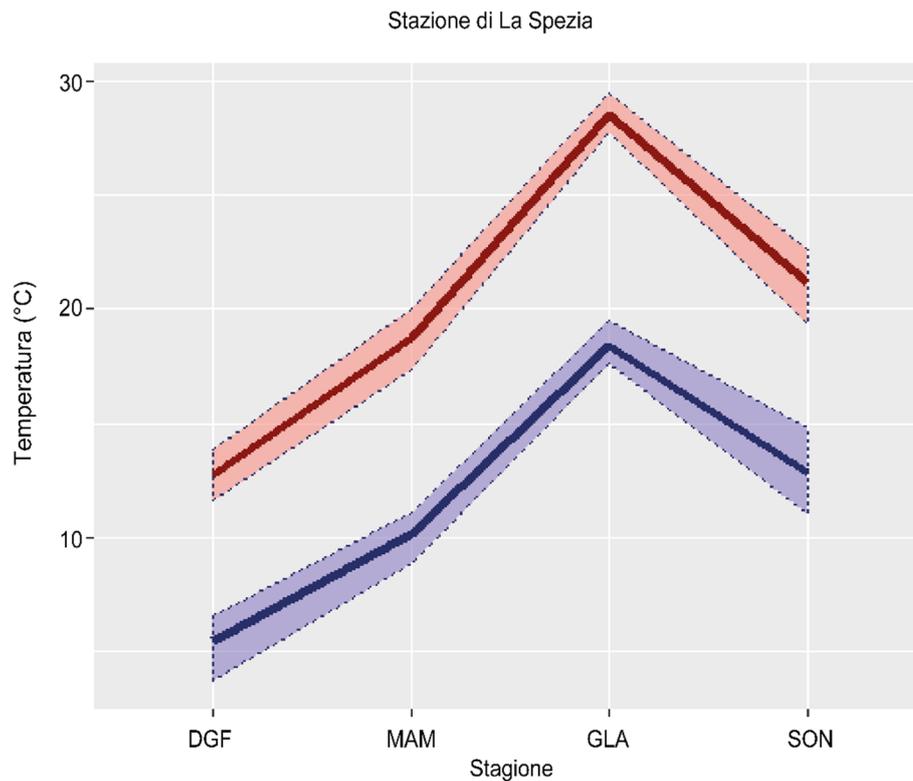


Figura 4.10 Andamento delle medie stagionali della temperatura minima (linea blu) e della temperatura massima (linea rossa). L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione stagionale.

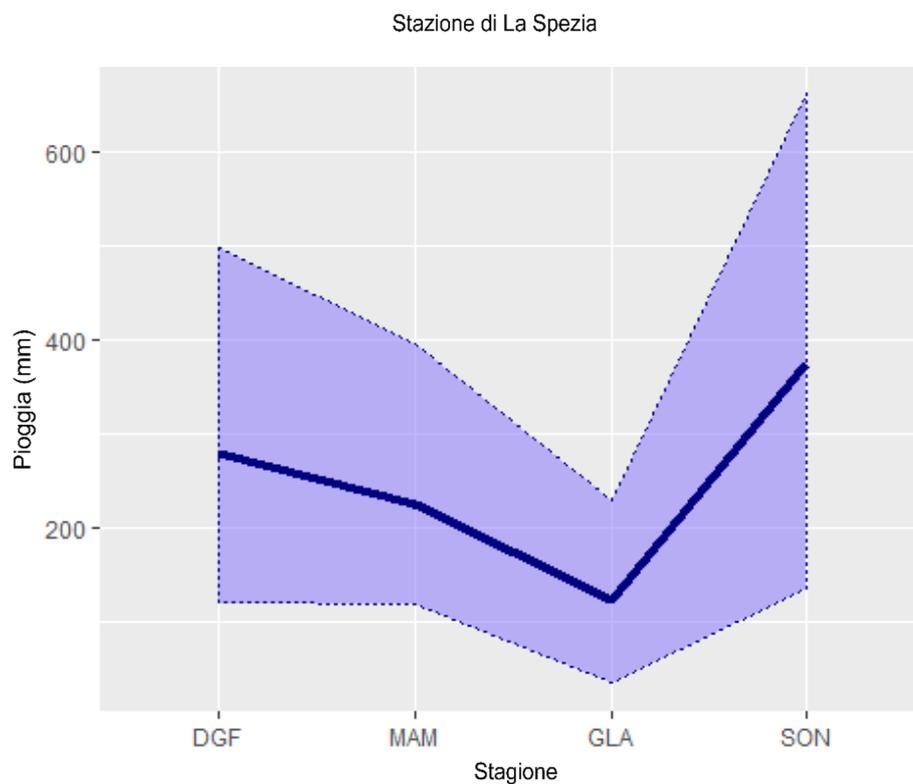


Figura 4.11 Andamento della media della precipitazione cumulata stagionale. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione stagionale.

In Figura 4.12 sono riportate le serie temporali annuali della pioggia calcolate escludendo i valori di pioggia pari a zero, mentre in Figura 4.13 sono riportate le anomalie della pioggia (scostamento in mm del valore della pioggia rispetto al valor medio nel periodo di riferimento). In Figura 4.14 vengono riportate le serie temporali annuali di temperatura massima e minima. La significatività statistica dei trend di temperatura e precipitazione è stata verificata tramite il Test di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1962; Hirsch et al., 1982).

La determinazione della significatività statistica è necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrecita significativo. L'ipotesi nulla del test è che i dati provengano da una popolazione con realizzazioni indipendenti e distribuiti in modo identico. L'ipotesi alternativa è che i dati seguano una tendenza monotona. Per la serie di pioggia, dal momento che il *p-value* è maggiore di 0.05, non si può rifiutare l'ipotesi nulla che evidenzia che la serie di dati non ha una tendenza monotona significativa. Tuttavia dato che il valore di pendenza di Sen (Sen, 1968) è pari a 6.56 (Figura 4.12) si osserva un lieve aumento della pioggia nel periodo analizzato. Si evidenzia inoltre un aumento in valore assoluto delle anomalie di pioggia verso la fine del periodo di analisi. Per la serie della temperatura minima, *tmin*, dal momento che il *p-value* è minore di 0.05, si può rifiutare l'ipotesi nulla e accettare l'ipotesi alternativa che evidenzia che la serie di dati ha una tendenza monotona. Dato che il valore di pendenza di Sen è pari a 0.044 (Figura 4.14) la tendenza è monotona crescente. Per la serie della temperatura massima, *tmax*, dal momento che il *p-value* è maggiore di 0.05, si può accettare l'ipotesi nulla e concludere che la serie non mostra tendenze di crescita/decrecita significativi.

La serie temporale della temperatura minima rappresenta l'unica per la quale il test di Mann Kendall abbia mostrato un test significativo (a livello di significatività del 95%) sul periodo di analisi (Figura 4.14) con un aumento di circa 0.1°C ogni due anni.

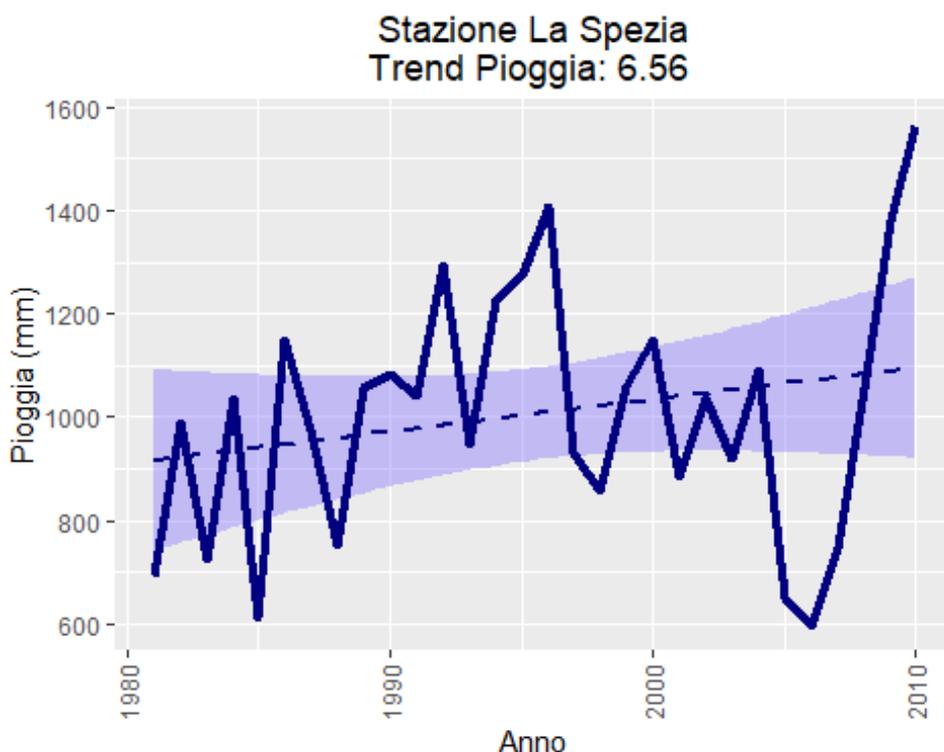


Figura 4.12 Serie temporale annuale della pioggia (i valori di pioggia pari a zero sono stati esclusi).

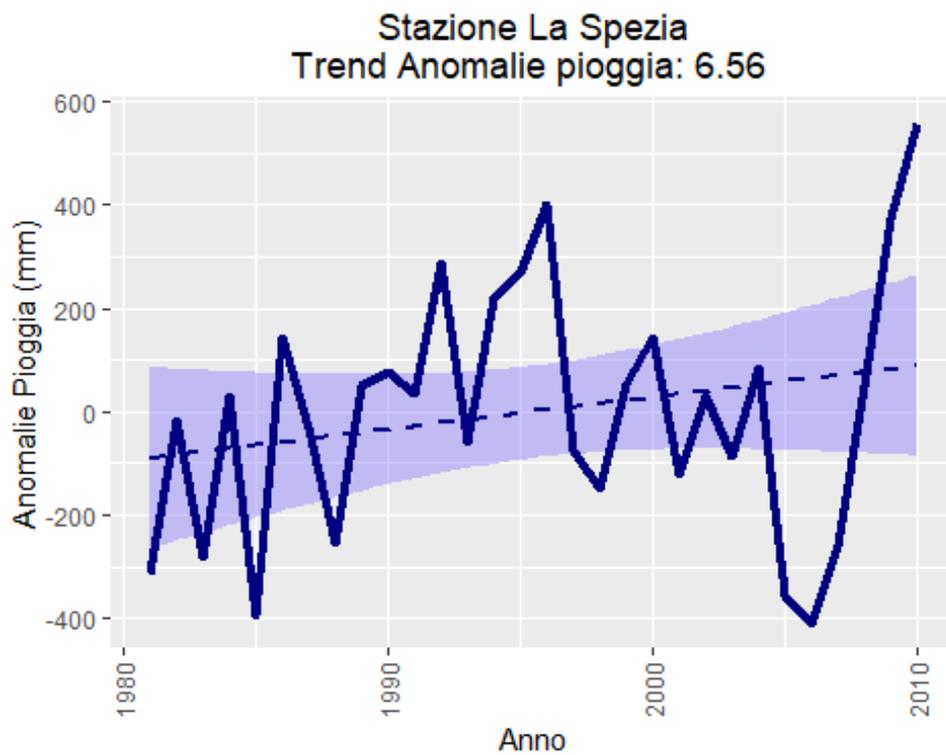


Figura 4.13 Serie temporale annuale della pioggia (i valori di pioggia pari a zero sono stati inclusi).

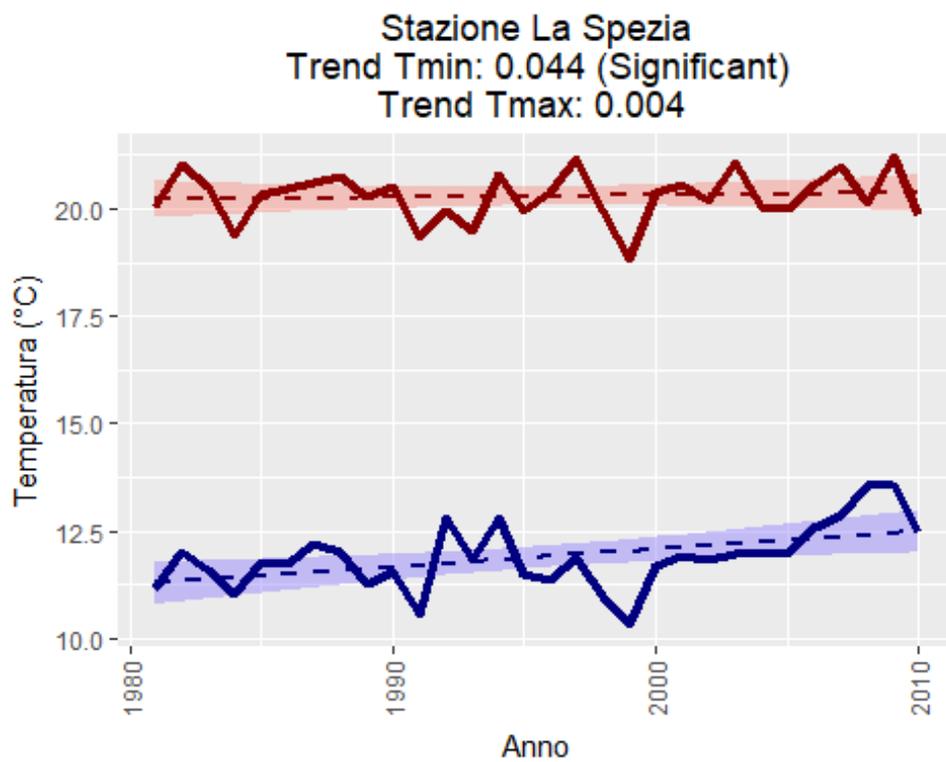


Figura 4.14 Serie temporale annuale della temperatura massima (tmax, linea rossa) e della temperatura minima (tmin, linea blu). La linea di trend è riportata con una linea nera tratteggiata.

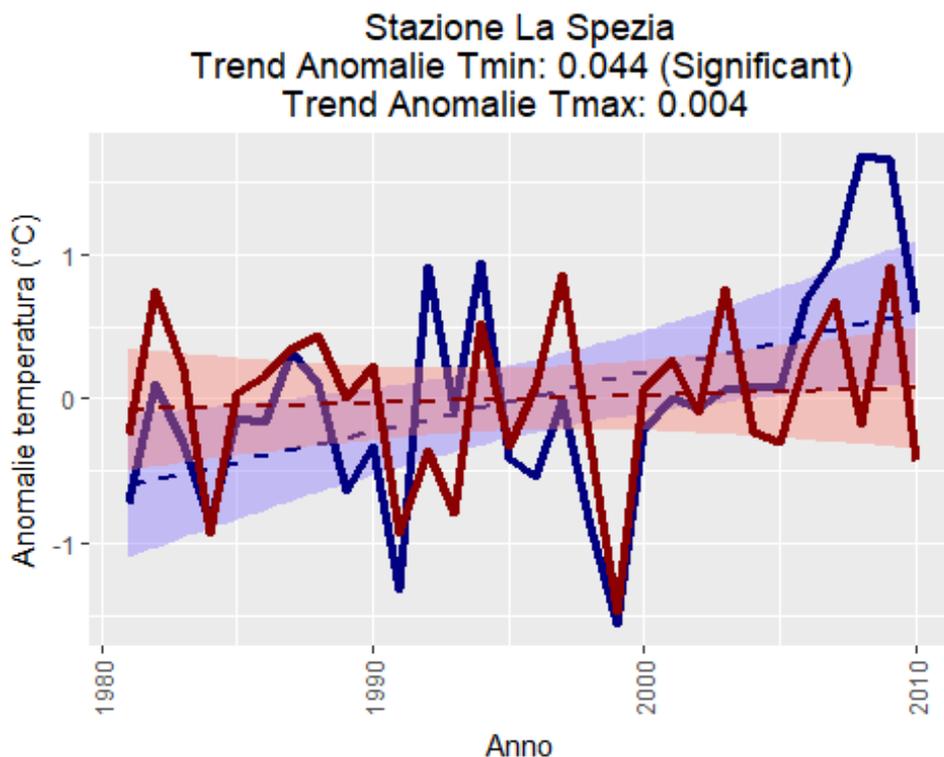


Figura 4.15 Andamento temporale dell’anomalia di temperatura massima (tmax, linea rossa) e di temperatura minima (tmin, linea blu) rispetto al valore medio sul periodo di analisi per la stazione di La Spezia. La linea di trend è riportata con una linea nera tratteggiata.

L’andamento dell’anomalia di temperatura minima e massima (scostamento in °C del valore della temperatura rispetto al valor medio nel periodo di riferimento) viene mostrato in Figura 4.15. Dei due trend quello significativo (indicato con il termine “*significant*” nel titolo del grafico) risulta essere il trend dell’anomalia per i valori della temperatura minima (linea blu nel grafico di Figura 4.15).

Riferendoci alla Tabella 4-2 si evince che la temperatura massima media più elevata è pari a 28.6°C, nel periodo estivo (giugno, luglio, agosto: GLA), mentre la temperatura minima media più bassa è pari a 5.4°C, nel periodo invernale (dicembre, gennaio, febbraio: DGF). Per quanto riguarda la pioggia, la stagione più piovosa è l’autunno (settembre, ottobre, novembre: SON) con 376.0 mm seguito dall’inverno (dicembre, gennaio, febbraio: DGF) con 279.8 mm e dalla primavera (marzo, aprile, maggio: MAM) con 225.3 mm. La stagione meno piovosa è l’estate (GLA) con 122.3 mm.

I valori medi sono senz’altro fondamentali per la descrizione delle caratteristiche climatiche medie. Purtroppo per individuare le maggiori criticità sul territorio è necessario disporre dei valori estremi. La Tabella 4-4 mostra i percentili, che restituiscono l’intensità dei valori più estremi, delle distribuzioni dei valori di precipitazione (“prec”=inclusi i valori di precipitazione pari a 0; “prec no zero”=esclusi i valori di precipitazione pari a 0), e di temperatura minima e temperatura massima (tmin e tmax).

Tabella 4-4 Calcolo dei percentili dei valori di precipitazione (“prec”=inclusi i valori di precipitazione pari a 0, “prec no zero”=esclusi i valori di precipitazione pari a 0), e di temperatura minima e massima (tmin e di tmax).

percentil e	prec mm	prec no zero mm	tmin °C	tmax °C
1th	0	0.1	-0.5	6.6
5th	0	0.2	2.0	10.0
50th	0	4.0	11.8	19.7
95th	18.0	36.0	21.0	31.4
99th	41.8	64.7	22.9	34.2

Per la definizione degli scenari climatici, diversi indicatori sintetici (medi e/o estremi) sono comunemente utilizzati in letteratura. Tali indicatori sono utili ai fini della conoscenza delle caratteristiche del clima locale e per avere evidenza dell'eventuale presenza di cambiamenti climatici già in atto. Gli eventi estremi sono definiti come eventi che differiscono, nelle loro caratteristiche, in maniera sostanziale dalla media climatologica dell'area. Essi possono essere analizzati attraverso un set di indicatori definiti in letteratura, ad esempio quelli resi disponibili dall'ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*). Tali indicatori descrivono principalmente l'intensità e la frequenza degli eventi estremi in termini di precipitazione e temperatura, e sono certamente molto utili per i successivi studi di settore volti a valutare i principali impatti locali del cambiamento climatico su cui si basano le strategie di adattamento. Nella Tabella 4-5 sono stati riportati alcuni degli indicatori ETCCDI, selezionati per descrivere la variabilità climatica dell'area geografica di interesse.

Tabella 4-5 Definizione degli indicatori utilizzati per caratterizzare gli eventi estremi.

Acronimo	Indicatore
SU	(<i>summer days</i>) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C
TN/TR	(<i>tropical nights</i>) numero di giorni all' anno con temperatura minima maggiore di 20°C
R10	numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore di 10 mm
PRCPTOT	cumulata (somma) della precipitazione annuale per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
PRCPTOT DJF	cumulata (somma) della precipitazione dei mesi invernali (dicembre, gennaio, febbraio) per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
PRCPTOT SON	cumulata (somma) della precipitazione dei mesi autunnali (settembre, ottobre, novembre) per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
PRCPTOT MAM	cumulata (somma) della precipitazione dei mesi primaverili (marzo, aprile, maggio) per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
PRCPTOT JJA	cumulata (somma) della precipitazione dei mesi estivi (giugno, luglio, agosto) per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
RX1DAY	massimo valore di precipitazione su 24 ore su scala annuale
RRI	numero di giorni all'anno dei giorni con pioggia maggiore o uguale ad 1 millimetro

La stazione di La Spezia è caratterizzata da un numero medio di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C (SU) pari a 107, mentre il numero medio di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera maggiore di 20°C (TN) è pari a 30 (Tabella 4-6).

Inoltre, La Spezia risulta caratterizzata da precipitazioni annuali medie (prcptot) di 692 mm e da precipitazioni medie invernali (PRCTOT_DJF) ed autunnali (PRCTOT_SON) e primaverili (PRCTOT_MAM) rispettivamente pari a 192.0, 254.0 e 161.0 mm; le precipitazioni estive (PRCTOT_JJA) medie risultano invece essere le più basse (85 mm).

Tabella 4-6 Valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 1981-2010 (gg=giorni).

SU gg/anno	TN_TR gg/anno	R10 gg/anno	PRCTOT mm/anno	PRCTOT_DJF mm/stagione	PRCTOT_MA M mm/stagione	PRCTOT_JJA mm/stagione	PRCTOT_SO N mm/stagione	RXIDAY mm/5gg	RR1 gg/anno
107	30	32	996	277	222	124	373	35	80

5 SCENARI CLIMATICI DISPONIBILI

Per valutare il clima su una scala regionale, esistono principalmente due tecniche di “regionalizzazione” o “*downscaling*”: quelle statistiche e quelle dinamiche. Le due tecniche sono differenti in termini di approccio, oneri computazionali, prerequisiti e limiti e, quindi, sono caratterizzate da diversi vantaggi e svantaggi.

Le tecniche di tipo statistico si basano sull'utilizzo di relazioni statistiche tra predittori sinottici (su larga scala) e locali, quest'ultimi disponibili tramite lunghe serie temporali di osservazioni delle variabili di interesse utili per derivare e validare le relazioni statistiche. Le tecniche di *downscaling* dinamico utilizzano, invece, modelli numerici ad area limitata. Essendo basati su leggi fisiche, essi generalmente riescono a fornire una buona risposta su scala locale al riscaldamento globale e all'aumento della concentrazione di gas serra previsti per il futuro tuttavia essi non sono talvolta in grado, specialmente per effetto della risoluzione delle parametrizzazioni adottate, di cogliere delle caratteristiche di dettaglio.

Inoltre, diversi studi di letteratura mostrano come la risoluzione spaziale di questi modelli, attualmente intorno ai 10 km, e la capacità di avere una buona predicibilità su scala giornaliera, li indichi come quelli più adatti da utilizzare come input ai modelli di impatto per valutare quantitativamente come il cambiamento climatico inciderà sulla loro variazione (in frequenza e magnitudo).

In questo lavoro le analisi di proiezioni di cambiamento climatico su scala locale vengono condotte utilizzando i risultati ottenuti per l'Europa con la tecnica del “*downscaling* dinamico” (regionalizzazione dinamica), nello specifico sono stati utilizzati i dati simulati dai diversi modelli climatici regionali disponibili all'interno del programma EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>).

Tali simulazioni permettono, a seconda dello scenario climatico selezionato di valutare l'andamento atteso delle variabili atmosferiche di interesse, specialmente temperatura e precipitazione. Gli scenari alla base delle proiezioni climatiche sono stati definiti nel Quinto Rapporto di Valutazione (AR5 – Fifth Assessment Report) del Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) e sono noti come RCP (Representative Concentration Pathways – Percorsi Rappresentativi di Concentrazione). Tali scenari sono identificati dal loro forzante radiativo totale approssimato nel 2100, rispetto al 1750: 2.6 Wm⁻² per RCP2.6, 4.5 Wm⁻² per RCP4.5, 6.0 Wm⁻² per RCP6.0, e 8.5 Wm⁻² per RCP8.5.

In questo studio, le proiezioni climatiche future sono state ottenute considerando due diversi scenari IPCC RCP4.5 e RCP8.5 e sono stati considerati tutti i modelli RCM (*Regional Circulation Model*) disponibili nel programma EURO-CORDEX al fine di valutare il valore medio (*ensemble mean*) delle proiezioni climatiche rispetto ai due scenari considerati e l'incertezza associata (Kotlarski et al., 2014; Jacob et al., 2014).

Infatti, l'utilizzo di tutti i modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX sebbene più onerosa dal punto di vista metodologico e computazionale, permette di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse.

Nell'elaborazione sono stati selezionati i pixel in corrispondenza dell'area del territorio comunale del comune di La Spezia e sono state studiate le variazioni di pioggia e temperatura tra il periodo futuro e il periodo attuale (1981-2010) considerando gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Le variazioni attese dei valori medi ed estremi di temperatura e precipitazione per la città di interesse, di seguito riportate, sono state calcolate a partire dalla media spaziale di un limitato numero di punti griglia

del modello che delimita il comune di La Spezia. Nello specifico, per caratterizzare le anomalie climatiche attese, è stato selezionato un *box* costituito da 9 punti griglia per i modelli di simulazione utilizzati centrato sul punto di osservazione disponibile.

Nel presente paragrafo vengono presentate le anomalie delle variabili climatiche e degli indicatori selezionati sui tre trentenni futuri di interesse rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Si specifica che il periodo presente è stato ricostruito I trentenni futuri selezionati, ampiamente utilizzati in letteratura, sono i seguenti:

- 2011-2040 (breve termine)
- 2041-2070 (medio termine)
- 2071-2100 (lungo termine)

Le anomalie, ottenute come differenza tra i valori medi degli indicatori nei periodi futuri e in quello di riferimento 1981-2010, sono espresse in valore assoluto per la temperatura e in percentuale per la precipitazione. Le anomalie climatiche si basano sulla differenza tra due periodi, uno futuro e uno di riferimento, entrambi della durata di 30 anni. Tale lunghezza è ritenuta adeguata per la caratterizzazione sia dei valori medi che degli estremi delle variabili atmosferiche di interesse (WMO, 2007).

Nella presente sezione, seguendo un approccio multi-model e multi-scenario sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- media (ottenuta a partire dai diversi modelli disponibili) delle anomalie stagionali e annuali delle variabili di interesse per i diversi periodi futuri e per i diversi scenari IPCC selezionati;
- media (ottenuta a partire dai diversi modelli disponibili) delle anomalie annuali degli indicatori selezionati per i diversi periodi futuri e per i diversi scenari IPCC selezionati;
- dispersione intorno al valore medio degli indicatori selezionati (approccio multi-model). L'ampiezza della dispersione è stata ottenuta utilizzando la deviazione standard delle variabili (o degli indicatori climatici).

Come prima analisi, nella Tabella 5-1 sono riportati i valori delle anomalie di temperatura e precipitazione annuali e stagionali, per i tre periodi di interesse e per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, per il *box* che include il comune considerato.

Da tale tabella si evince che, in termini di precipitazione, in generale, si proietta un aumento delle precipitazioni in tutti gli scenari a scala annuale e per la maggior parte degli scenari stagionali. Questa tendenza di aumento generale viene in qualche modo mitigata dal fatto che quanto riguarda il periodo a breve (2011-2040), e a medio (2014-2070) termine si nota una diminuzione delle precipitazioni estive considerando lo scenario RCP4.5. Si nota inoltre una tendenza alla diminuzione per la stagione primaverile per quanto riguarda il periodo a medio e lungo termine sempre considerando lo scenario RCP4.5. Considerando invece lo scenario RCP8.5, si proietta a breve (2011-2040), a medio termine (2014-2070) e a lungo termine (2071-2100) una diminuzione delle precipitazioni primaverili e per lo scenario a lungo termine anche autunnali. La temperatura mostra un generale aumento sia a scala annuale che stagionale per entrambi gli scenari e per tutti e tre i periodi di osservazione con intensità crescente per il lungo termine (2071-2100) in special modo per lo scenario RCP8.5.

Inoltre, è stato analizzato l'*ensemble mean* delle anomalie (Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3) degli indicatori estremi di temperatura e precipitazione.

In termini di temperatura, in Figura 5.1, nel comune di La Spezia in futuro è atteso un considerevole aumento del numero di giorni all'anno con temperature massime maggiori di 25 °C (SU) e del numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20 °C (TR), più pronunciato nel periodo a lungo termine e considerando lo scenario più pessimista.

Tabella 5-1 Anomalie (in termini di media delle anomalie dei diversi modelli) stagionali di temperatura (media, minima e massima, in °C) e precipitazione (%) per i due scenari e i tre periodi di interesse, per il box che include il comune di La Spezia.

	RCP4.5					RCP8.5					
	Anno	DGF	MAM	GLA	SON	Anno	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	0.8	-0.2	4.4	-2.3	0.9	1.2	2.3	-2.3	4.4	1.0	2011-2040
Tmin (°C)	0.7	0.6	0.4	0.9	0.7	0.8	0.6	0.6	1.0	0.9	
Tmean (°C)	0.7	0.7	0.4	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	1.0	0.9	
Tmax (°C)	0.7	0.7	0.4	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	1.0	0.9	
Pr (%)	1.3	2.3	-0.6	-2.1	3.5	3.6	4.9	-0.5	7.7	3.2	2041-2070
Tmin (°C)	1.2	1	0.9	1.7	1.2	1.8	1.5	1.4	2.2	2.1	
Tmean (°C)	1.3	1.1	1	1.7	1.3	1.8	1.6	1.4	2.1	2.1	
Tmax (°C)	1.3	1.1	1	1.7	1.3	1.8	1.6	1.4	2.1	2.1	
Pr (%)	2.5	6.0	-0.6	1.5	1.8	2.0	7.0	-1.3	2.5	-0.5	2071-2100
Tmin (°C)	1.7	1.6	1.3	2	1.8	3.4	3.1	2.7	4.1	3.6	
Tmean (°C)	1.7	1.6	1.4	2	1.9	3.4	3.2	2.7	4.1	3.6	
Tmax (°C)	1.7	1.7	1.4	2	1.9	3.4	3.2	2.6	4.1	3.6	

In termini di precipitazione, in Figura 5.2, si evince come sia atteso un aumento dei massimi di precipitazione giornaliera (RX1DAY), più pronunciato nel lungo periodo (2071-2100) in entrambi gli scenari. Di contro, è attesa una riduzione del numero di giorni di pioggia (RR1) con un evidente diminuzione per lo scenario RCP8.5 a lungo termine (2071-2100), è attesa una diminuzione del numero di giorni con precipitazione maggiore uguale a 10 mm (R10) mentre si attende un aumento nella cumulata della precipitazione annuale nei giorni di pioggia (PRCPTOT). In particolare, in Figura 5.3, è evidente la tendenza all'aumento di PRCPTOT si concentra nei mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio: DGF), seguita in intensità da una tendenza all'aumento nei mesi autunnali (settembre, ottobre, e novembre: SON). È interessante notare come per i mesi estivi per quanto riguarda lo scenario RCP4.5 di breve e lungo termine si segnala una tendenza alla diminuzione, mentre per lo scenario RCP4.5 del lungo termine e per lo scenario RCP8.5 di breve, medio e lungo termine la tendenza è di un netto aumento. Sono di seguito rappresentate le serie temporali dei valori annuali e anche dei valori stagionali. È stato utilizzato il test di Mann-Kendall con un livello di confidenza del 95% per valutare la significatività statistica del trend di crescita/decrecita a livello comunale dei suddetti indicatori calcolati a partire dai modelli EURO-CORDEX.

Le figure dalla Figura 5.4 alla Figura 5.13 mostrano le serie temporali dei valori annuali degli indicatori estremi di temperatura (Figura 5.4 e Figura 5.5) e precipitazione (da Figura 5.6 a Figura 5.8), mentre le figure dalla Figura 5.9 alla Figura 5.13 mostrano le serie temporali dei valori stagionali dell'indicatore PRCPTOT. Inoltre, sono mostrati i valori del trend dell'ensemble mean dei modelli EURO-CORDEX per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5: i trend che risultano statisticamente significativi sono segnalati dalla presenza della etichetta "Significant". Le aree ombreggiate, presenti in tali figure, rappresentano il range di incertezza corrispondenti al 5° ed al 95° percentile della

distribuzione dei dati simulati dai modelli EURO-CORDEX. Inoltre, a ciascuna figura è associata una tabella contenente il numero medio di modelli che ricadono nel *range* di incertezza.

In termini di temperatura, nella Figura 5.4 e nella Figura 5.5, per entrambi gli scenari, si evince un aumento significativo degli indicatori SU e TR che risulta maggiore nel periodo a lungo termine, mentre l'aumento è più lieve secondo lo scenario RCP4.5. Per quanto riguarda la dispersione dei modelli intorno all'*ensemble mean*, il *range* di incertezza mostra una discreta variabilità sia per l'indicatore SU che per l'indicatore TR, in questo *range* ricadono in media 8 modelli su 11.

In termini di precipitazione, in Figura 5.8 in accordo con lo scenario RCP8.5, si evince una lieve diminuzione statisticamente significativa del numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 1 mm (indicatore RRI). Lo scenario RCP4.5, invece, presenta un segnale stazionario ma il risultato non è statisticamente significativo. Per quanto riguarda gli altri indicatori non si rilevano trend statisticamente significativi.

In Figura 5.9, in accordo con entrambi gli scenari, non si ha un trend statisticamente significativo per l'indicatore PRCPTOT su scala annuale. In generale, il *range* di incertezza mostra una variabilità maggiore sul periodo a lungo termine per entrambi gli scenari.

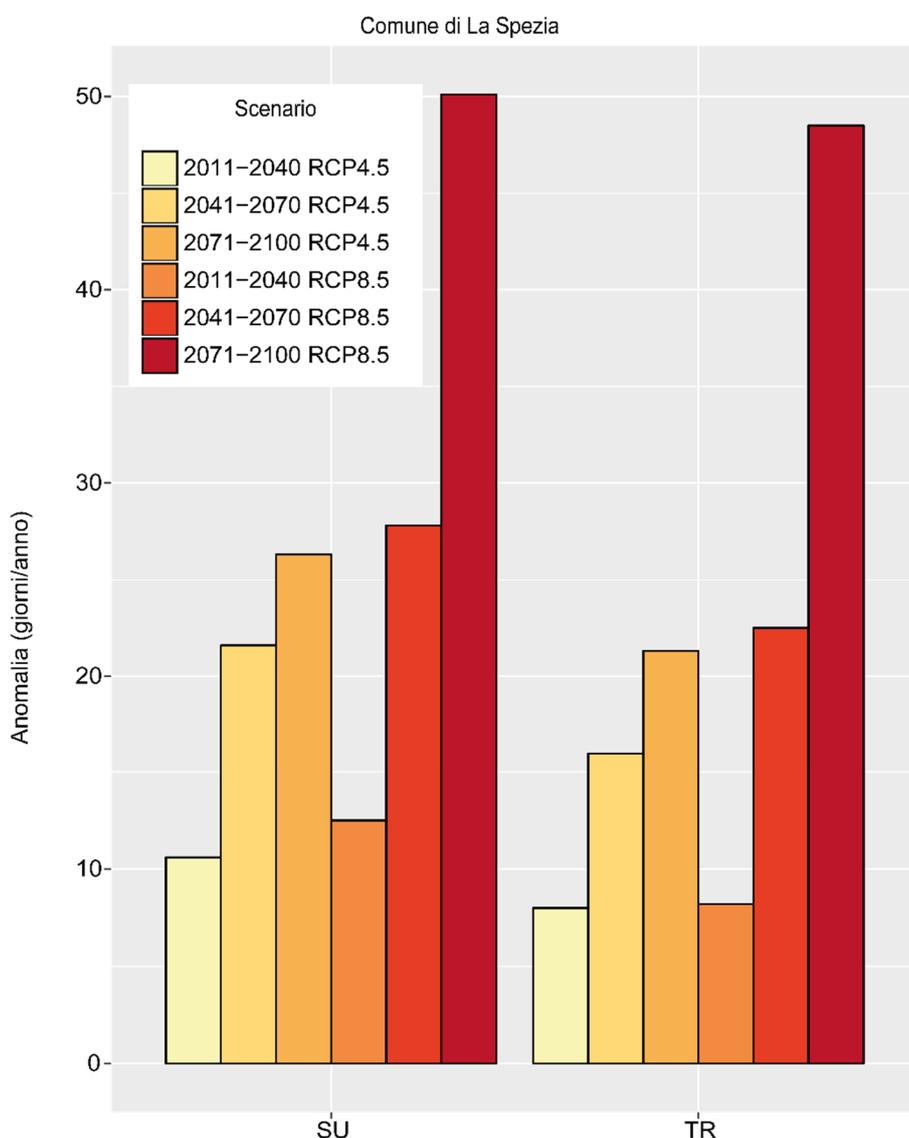


Figura 5.1 Anomalie degli indicatori di temperatura per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

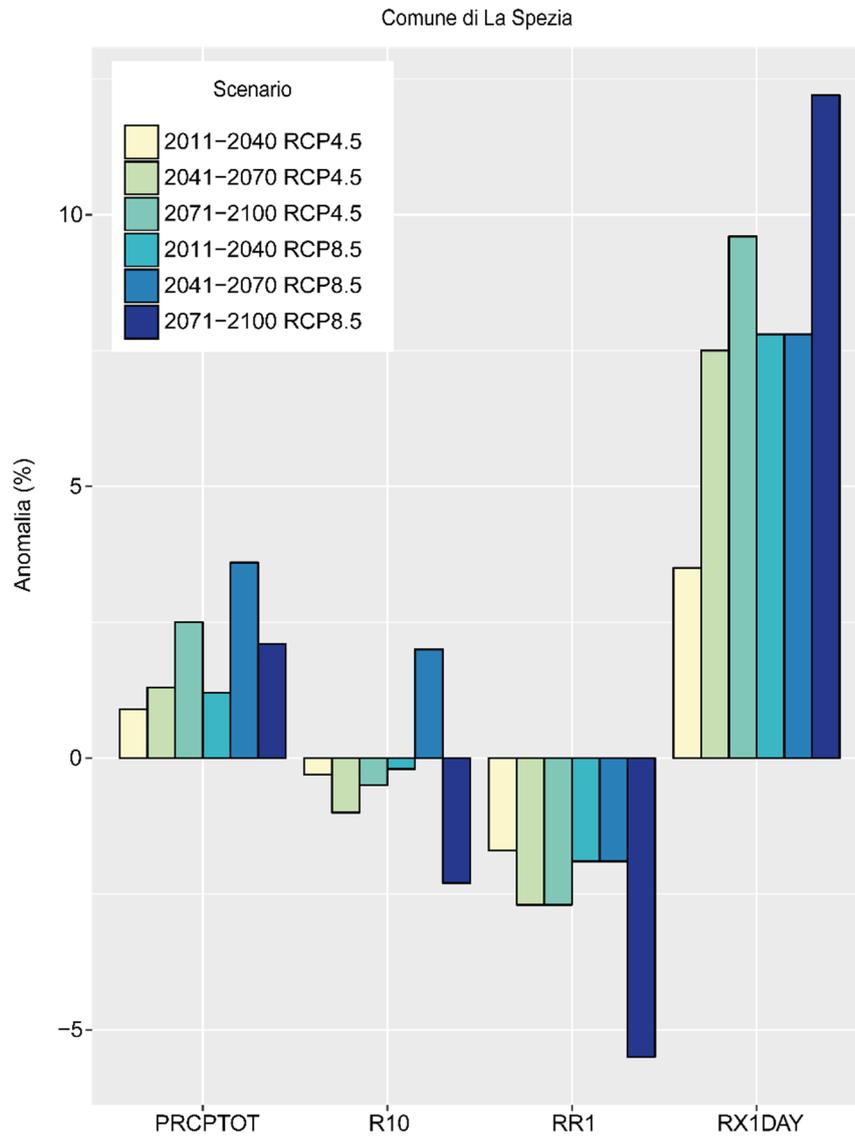


Figura 5.2 Anomalie degli indicatori di precipitazione per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

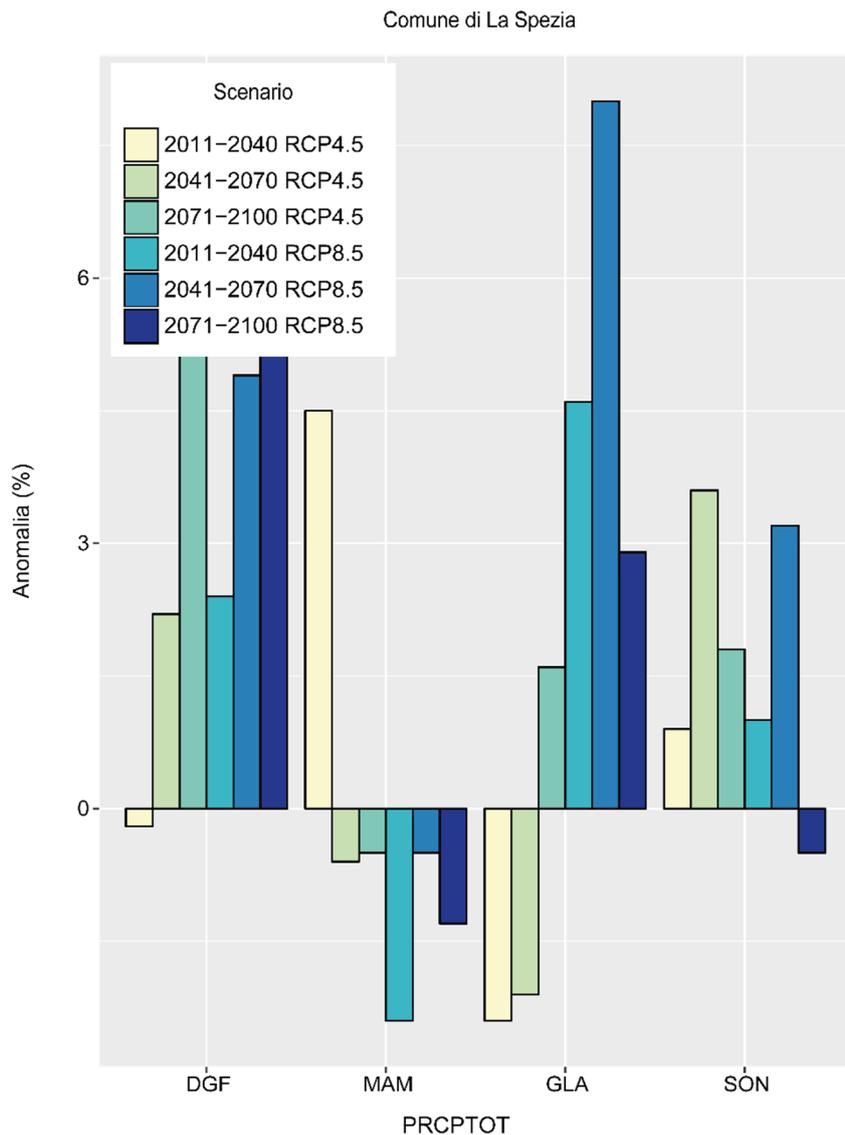


Figura 5.3 Anomalia stagionale dell'indicatore di precipitazione PRCPTOT per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Legenda: DGF, dicembre-gennaio-febbraio; MAM, marzo-aprile-maggio; GLA, giugno-luglio-agosto; SON, settembre-ottobre-novembre.

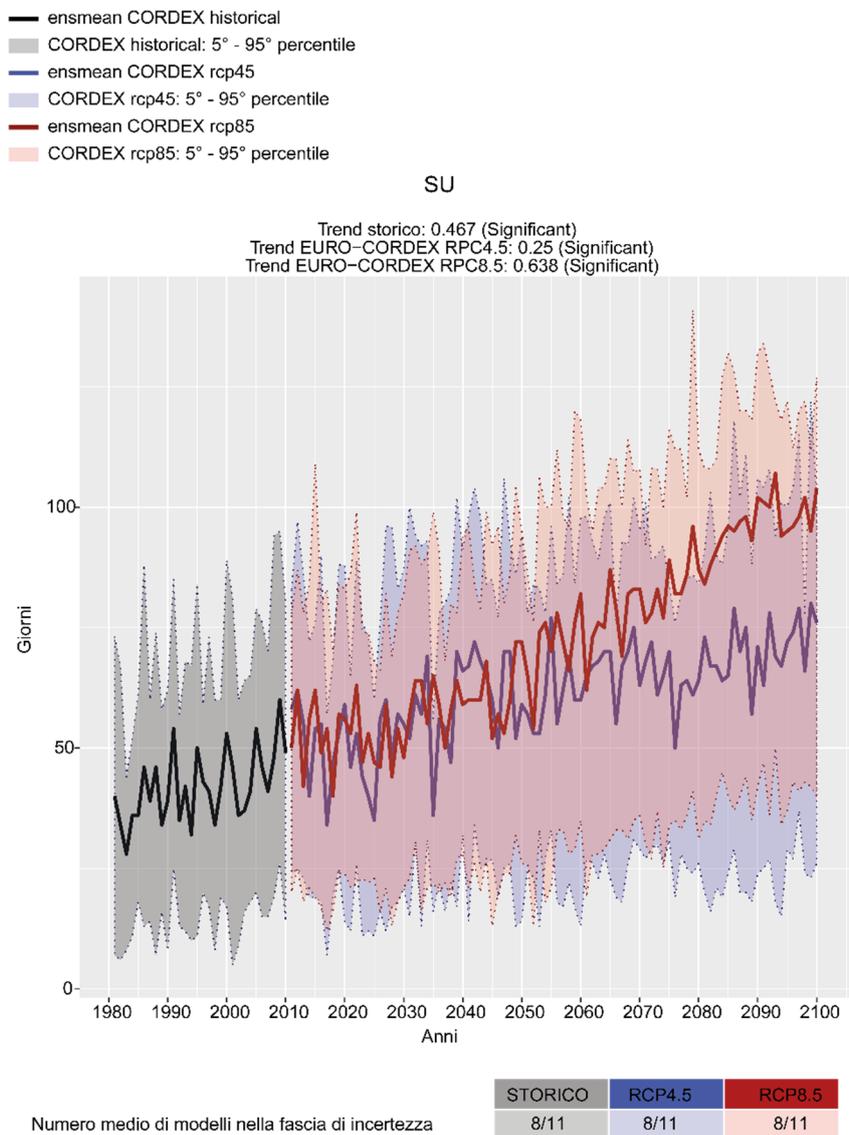


Figura 5.4 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore SU, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

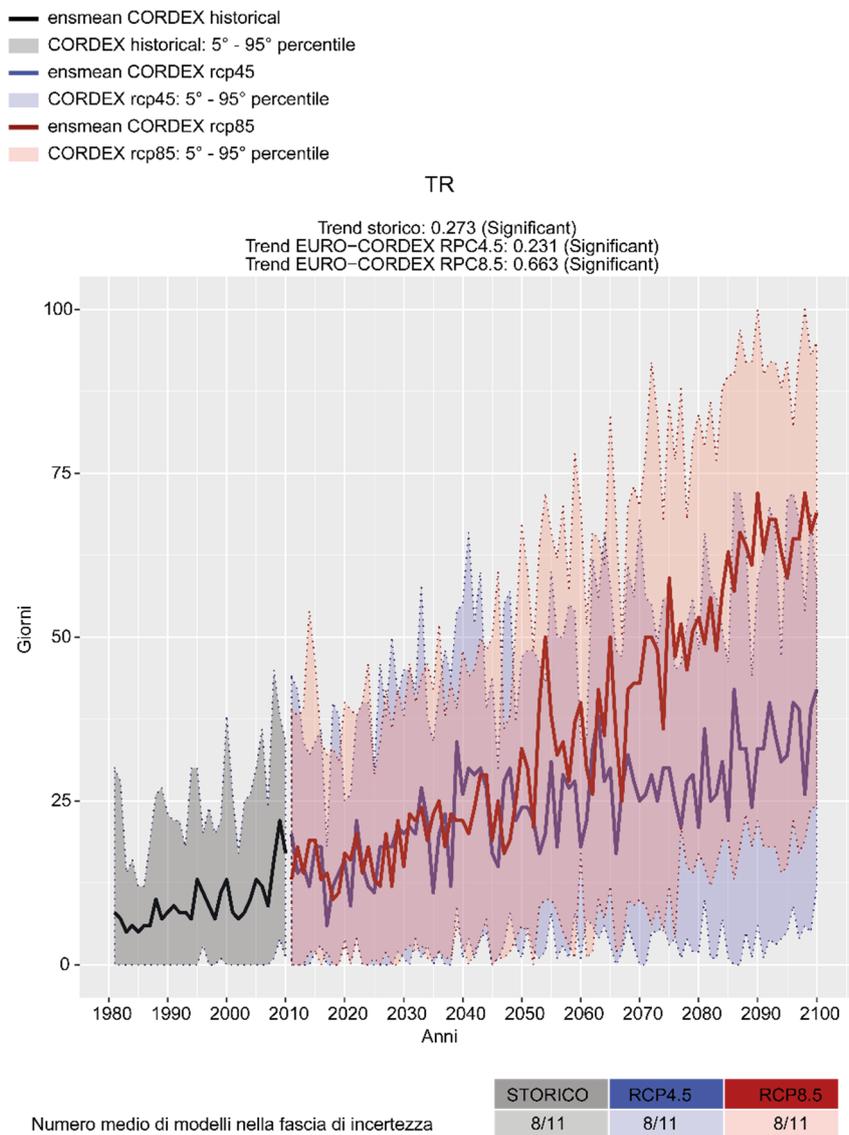


Figura 5.5 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore TR, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

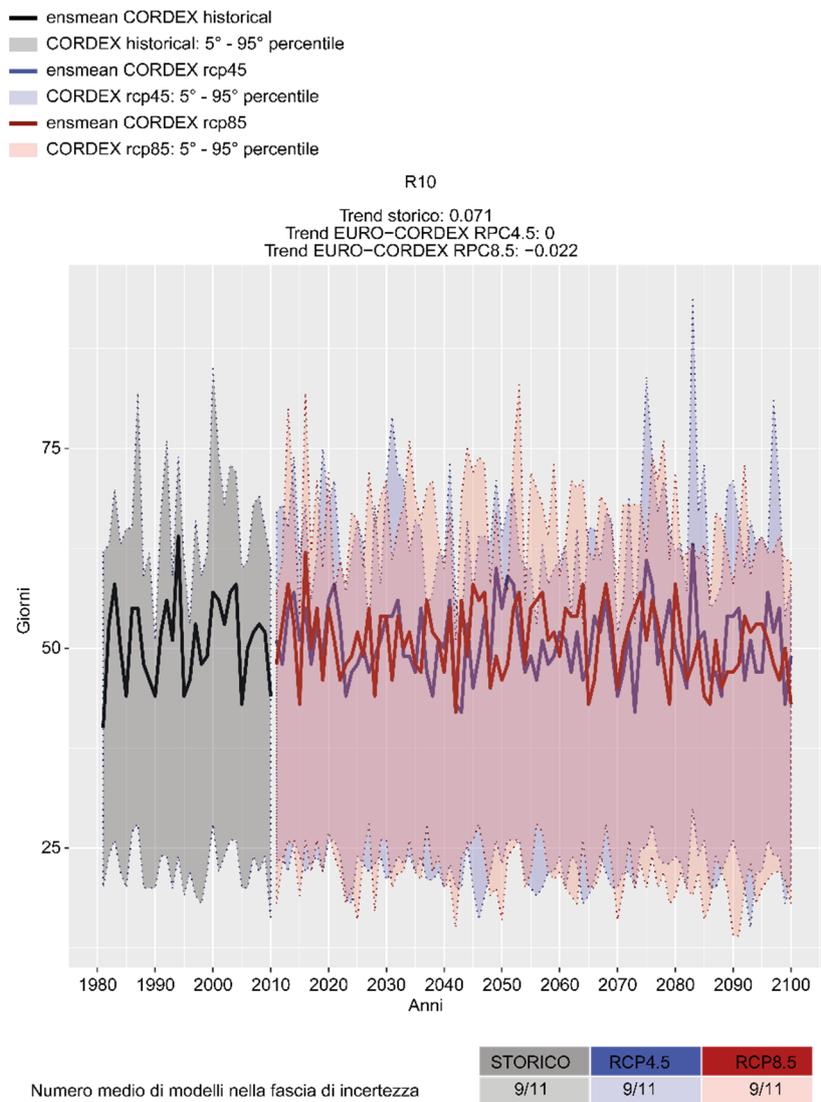


Figura 5.6 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore r10, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

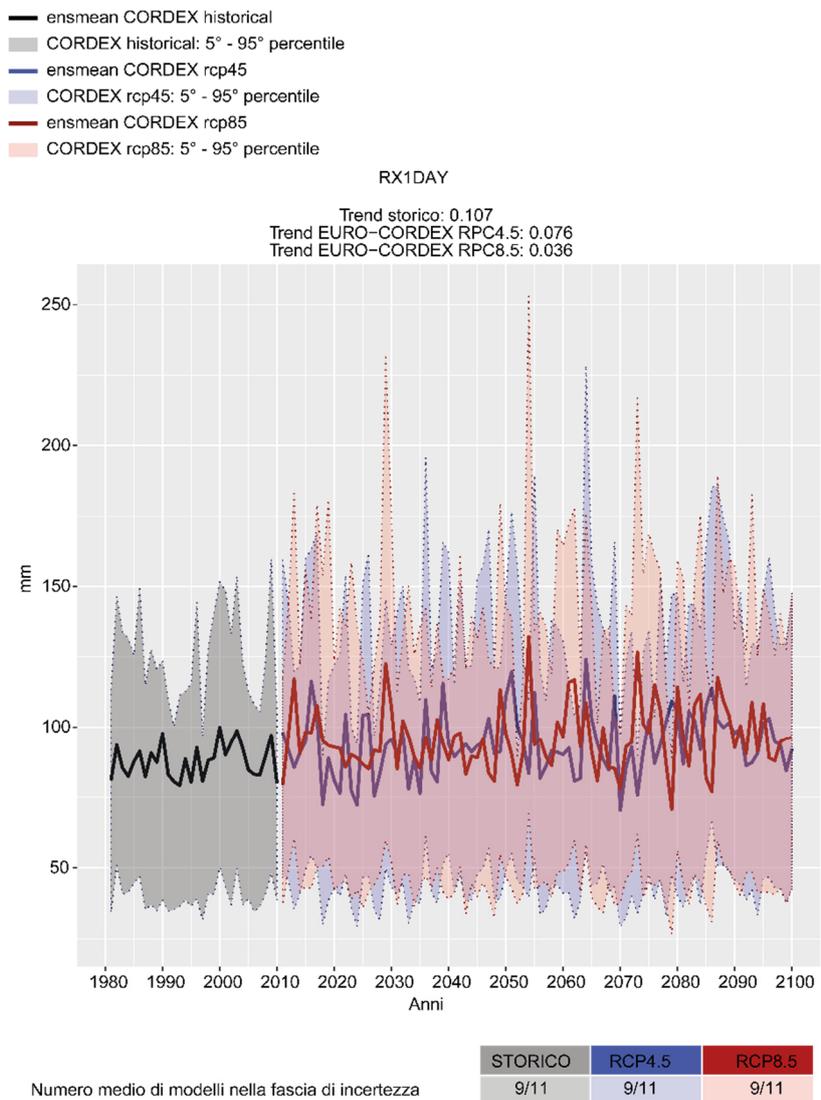


Figura 5.7 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore RX1DAY, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

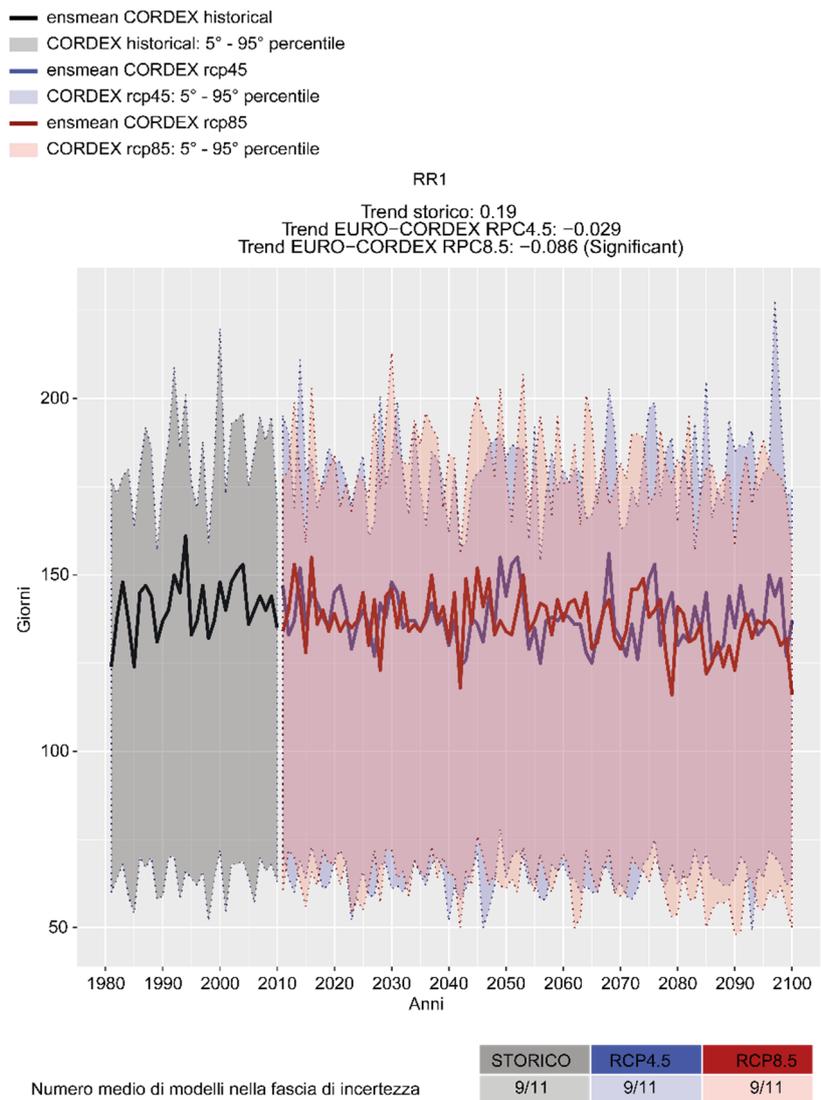


Figura 5.8 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore RR1, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

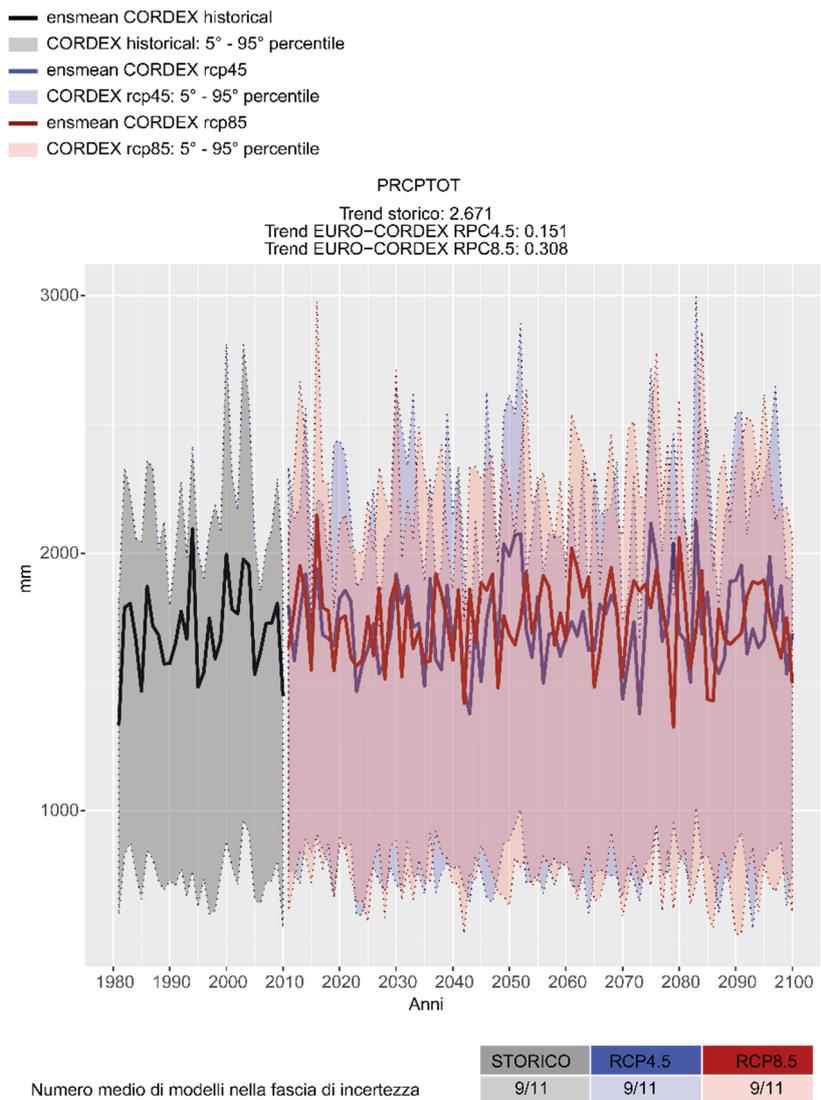


Figura 5.9 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore PRCPTOT, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

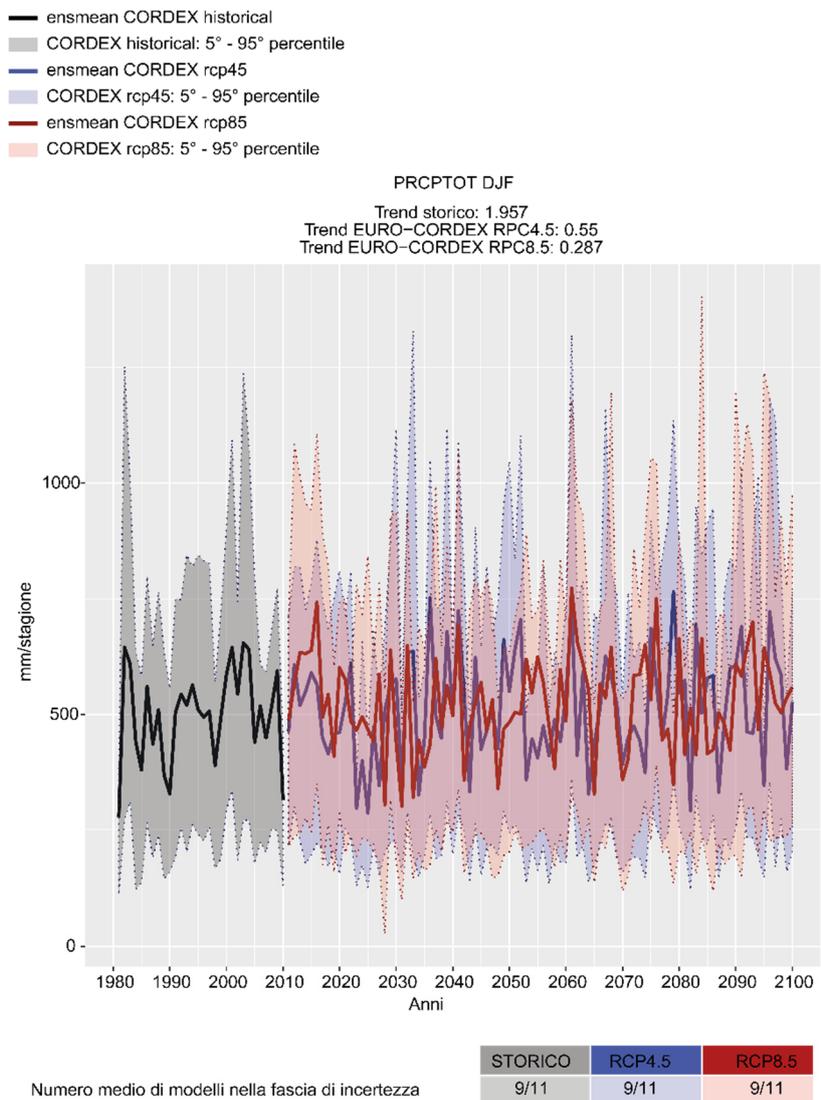


Figura 5.10 Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

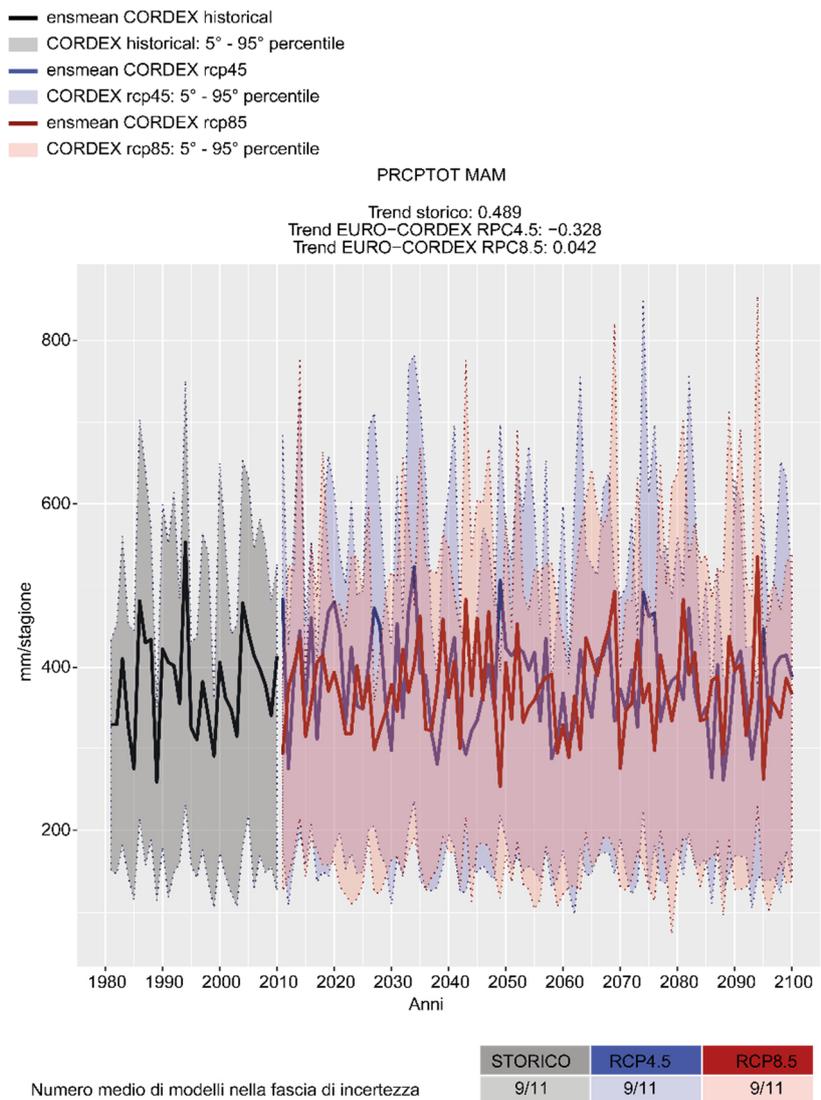


Figura 5.11 Proiezioni climatiche della stagione primaverile (MAM) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

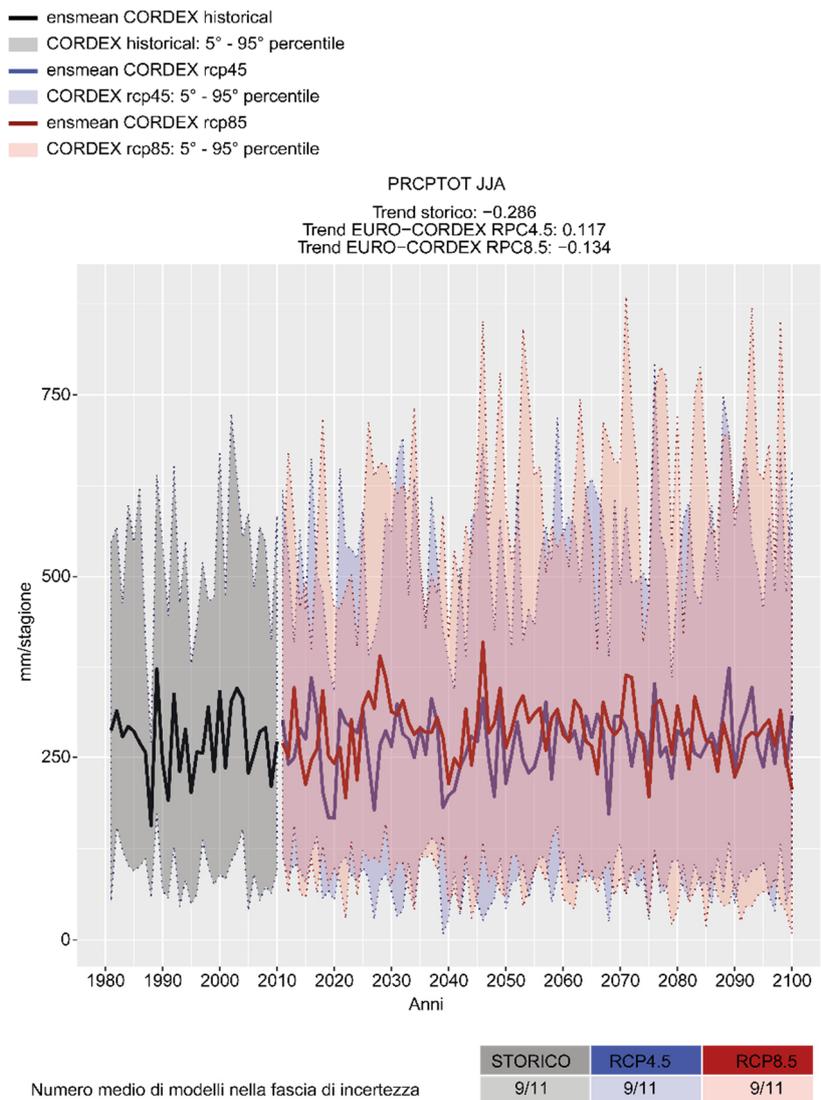


Figura 5.12 Proiezioni climatiche della stagione estiva (GLA) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

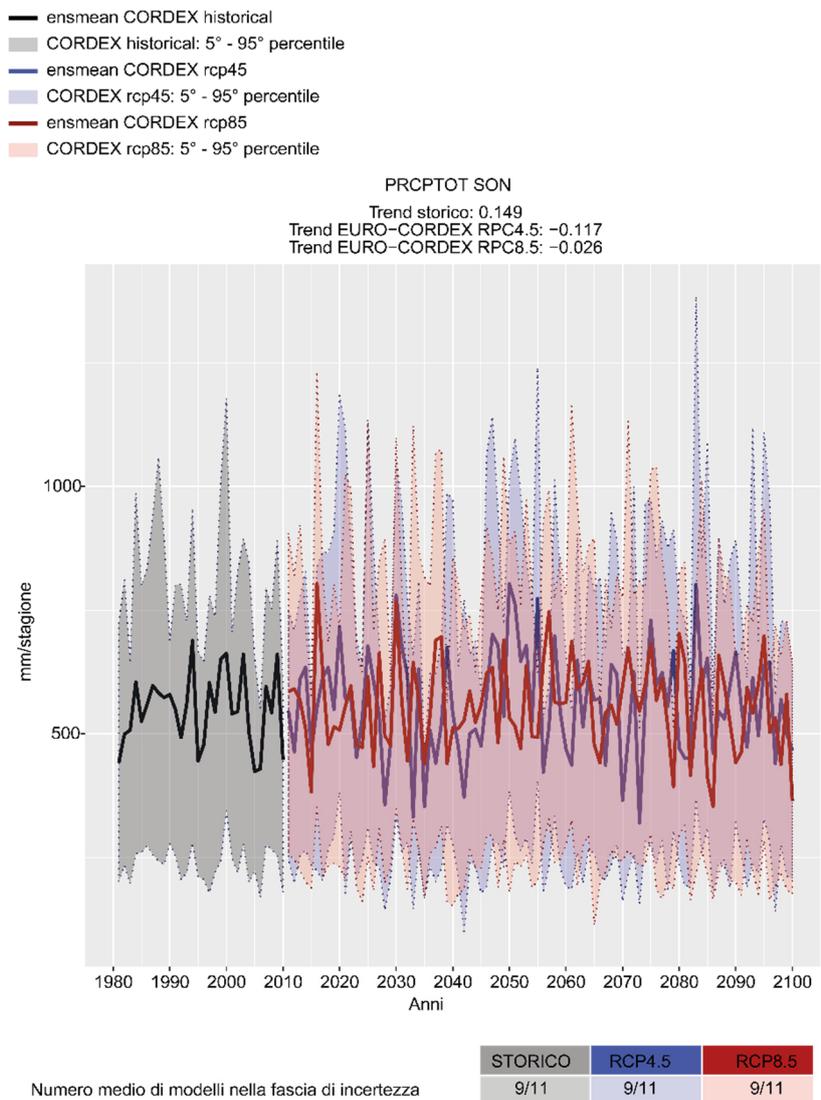


Figura 5.13 Proiezioni climatiche della stagione primaverile (SON) dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 5° e il 95° percentile dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

La Tabella 5-2 riassume i valori dei trend dei diversi indici climatici considerati nell'analisi.

Tabella 5-2 Trend nei diversi indici climatici. I valori contrassegnati con la lettera (S) sono quelli significativi.

Indice	Historical	RCP4.5	RCP8.5
SU	0.467 (S)	0.25 (S)	0.638 (S)
TR	0.273 (S)	0.231 (S)	0.663 (S)
R10	0.071	0.000	-0.022
RX1DAY	0.107	0.076	0.036
RR1	0.190	-0.029	-0.086 (S)
PRCTOT	2.671	0.151	0.308

6 CONCLUSIONI

È stata presentata, per il periodo 1981-2010, una caratterizzazione della variabilità climatica locale osservata per il comune di La Spezia a partire dai dati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione della stazione di Stazione di La Spezia. I dati osservati alla stazione di La Spezia sono stati integrati tramite una robusta elaborazione statistica con le misure di temperatura e precipitazione della stazione di Sarzana e con le misure di precipitazione della stazione di Levante per ottenere delle serie più complete possibile. Le serie statistiche così ricostruite sono affidabili dal punto di vista statistico sebbene contengano valori ricostruiti.

Nello specifico sono stati valutati i valori medi ed estremi delle variabili di temperatura e precipitazione. In particolare gli indicatori selezionati per descrivere la variabilità climatica dell'area geografica di interesse saranno molto utili per i successivi studi di settore volti a valutare i principali impatti locali del cambiamento climatico su cui si basano le strategie di adattamento e mitigazione.

In termini di temperatura, si osserva una temperatura massima media di 28.6°C durante l'estate e una temperatura minima media di circa 5.4°C durante l'inverno. Invece in termini di precipitazione, l'autunno risulta essere la stagione più piovosa (con 376.0 mm di pioggia) mentre l'estate è caratterizzata da precipitazioni basse di 122.3 mm.

La stazione di La Spezia è caratterizzata da un numero medio di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C (SU) pari a 107 mentre il numero medio di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera maggiore di 20°C (TN_TR) è pari a 30.

Inoltre, La Spezia risulta caratterizzata da precipitazioni annuali medie di 999.8 mm e da precipitazioni medie invernali di circa 279.8 mm, primaverili di 225.3 mm e autunnali di 376.0 mm; le precipitazioni estive medie risultano invece pari a 122.3mm.

In seguito è stato fornito un quadro sintetico delle proiezioni climatiche future per il breve termine (2011-2040), medio termine (2041-2070) e lungo termine (2071-2100) utilizzando i dati simulati dai diversi modelli climatici regionali disponibili all'interno del programma EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>). Le proiezioni climatiche future sono state ottenute considerando due diversi scenari IPCC: RCP4.5 e RCP8.5 al fine di valutare il valore medio (*ensemble mean*) delle proiezioni climatiche rispetto ai due scenari considerati e l'incertezza associata (Kotlarski et al., 2014; Jacob et al., 2014).

L'utilizzo di tutti i modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX, sebbene più onerosa dal punto di vista metodologico e computazionale, ha permesso di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse.

Tali analisi evidenziano un generale aumento delle temperature con intensità crescente sul lungo periodo e maggiore se si considera lo scenario RCP8.5. Considerando entrambi gli scenari, l'incremento maggiore è atteso in estate in tutti i 3 periodi analizzati; in particolare, con lo scenario RCP8.5, nel periodo più lontano (2071-2100) si raggiunge mediamente anche un aumento dei valori di temperatura di circa 4°C in estate.

In termini di precipitazione, in generale, si proietta una tendenza all'aumento delle precipitazioni annuali e anche stagionale, nei periodi di breve (2011-2040), medio (2041-2071) e lungo termine (2071-2100) con alcune eccezioni. Per quanto riguarda il periodo di breve (2011-2040) e medio (2014-2070) termine si nota una diminuzione delle precipitazioni estive considerando lo scenario RCP4.5. Si nota inoltre una tendenza alla diminuzione per la stagione primaverile per quanto riguarda il periodo a medio e lungo termine sempre considerando lo scenario RCP4.5. Considerando invece

lo scenario RCP8.5, si proietta a breve (2011-2040), a medio termine (2014-2070) e a lungo termine (2071-2100) una diminuzione delle precipitazioni primaverili e per lo scenario a lungo termine anche autunnali.

Infine, in termini di estremi nel comune di La Spezia in futuro è atteso un evidente aumento del numero di giorni all'anno con temperature massime maggiori di 25 °C (SU) e del numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20 °C (TR).

In termini di precipitazione si evince una lieve diminuzione statisticamente significativa del numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 1 mm (indicatore RR1) per lo scenario RCP8.5.

Il profilo climatico locale del comune di La Spezia, ottenuto sulla base delle osservazioni e delle proiezioni climatiche attualmente disponibili verrà utilizzato come strumento di supporto e sintesi dagli esperti di specifici studi di impatto.

7 BIBLIOGRAFIA

- Brown, R.L., Durbin, J., Evans, J.M., 1975. Techniques for testing the constancy of regression relationships over time (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*, B-37, 149–163.
- Collins, M., Knight, S., 2007. Ensembles and probabilities: a new era in the prediction of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1471–2962.
- Faccini, F., Giostrella, P., Melillo, M., Sacchini, A., & Santangelo, M. (2017). Heavy rains triggering flash floods in urban environment: a case from Chiavari (Genoa Metropolitan area, Italy). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 51-66.
- Faccini F., 2018. Personal communication. DiSTAV - Università degli Studi di Genova, 17 Dicembre 2018.
- Giannecchini R., Galanti Y., Barsanti M. (2015) Rainfall Intensity-Duration Thresholds for Triggering Shallow Landslides in the Eastern Ligurian Riviera (Italy). In: Lollino G. et al. (eds) *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2*. Springer, Cham
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D., New, M., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *J Geophys Res*. doi: 10.1029/2008jd010201
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith R.A., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality analysis. *Water Resources Research*, 18(1), 107-121.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland 151 pp
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, 2013. *Linee guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici*. 166 pp.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, et al., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Chang* 14:563–578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2
- Kendall, M.G., 1962. *Rank Correlation Methods*. Hafner Publishing Company, New York
- Kotlarski S, Keuler K, Christensen OB, et al., 2014. Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geosci Model Dev* 7:1297–1333. doi: 10.5194/gmd-7-1297-2014
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245–259.
- Pettitt, A.N., 1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28, 2, 126-135, doi:10.2307/2346729
- Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2017. 392 pp.
- Piano Urbanistico Comunale del Comune della Spezia (<http://www.comune.laspezia.it/>)
- Regione Liguria, 2018. Consultazione Dati MeteoClimatici. <http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp> Ultimo accesso, 10 novembre 2018.

- Sacchini, A., Ferraris, F., Faccini, F., & Firpo, M. (2012). Environmental climatic maps of Liguria (Italy). *Journal of Maps*, 8(3), 199-207.
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389, doi:10.2307/2285891.
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C.M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., Zhang, X., 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109–230.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Villani, V., Rianna, G., Mercogliano, P., Zollo, A.L., 2015. Statistical approaches versus weather generator to downscale RCM outputs to slope scale for stability assessment: a comparison of performances. *Electron. J. Geotech. Eng.* 20, 1495–1515.
- WMO - World Meteorological Organization, 2007. *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (WMO/TD-No. 1377). Geneva, Switzerland

8 GLOSSARIO

Anomalia: La deviazione di una variabile dal suo valore medio nel corso di un periodo di riferimento.

Cambiamento climatico: un cambiamento dello stato del clima che persiste per un periodo di tempo prolungato (solitamente di decenni o più), e identificabile (per esempio, attraverso l'uso di test statistici) da cambiamenti della media e/o della variabilità delle sue proprietà. Il cambiamento climatico può essere dovuto a processi naturali interni, o a forzanti esterni, come le modulazioni dei cicli solari, le eruzioni vulcaniche, e i ripetuti cambiamenti antropogenici della composizione dell'atmosfera o dell'uso del suolo. La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, nel suo articolo 1, definisce il cambiamento climatico come: "un cambiamento del clima, attribuibile direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si somma alla variabilità climatica naturale osservata nel corso di periodi di tempo confrontabili". Pertanto, si fa una distinzione tra il cambiamento climatico imputabile alle attività umane che alterano la composizione dell'atmosfera, e la variabilità climatica attribuibile a cause naturali.

Ciclo stagionale: media mensile, sul trentennio considerato, della variabile di interesse. Denominato anche ciclo annuale.

Clima: Il clima in senso stretto è solitamente definito come il tempo meteorologico medio o, in maniera più rigorosa, come la descrizione statistica in termini di media e variabilità di grandezze rilevanti, nel corso di un periodo di tempo che va da mesi a migliaia o milioni di anni. Il periodo classico per calcolare la media di queste variabili è trent'anni, secondo la definizione dell'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO - *World Meteorological Organization*). Le grandezze rilevanti sono nella maggior parte dei casi variabili superficiali, come temperatura, precipitazioni e venti. In senso più ampio e generale, il clima è lo stato, con l'inclusione di una descrizione statistica, del sistema climatico.

Downscaling. Processo matematico che permette di descrivere le conseguenze locali del cambiamento globale risultante da modelli numerici generali.

Estremi climatici: Il verificarsi del valore di una variabile atmosferica al di sopra (o sotto) di un valore di soglia vicino all'estremità superiore (o inferiore) della gamma di valori osservati della variabile. Sono intesi come sinonimi eventi estremi, eventi meteorologici estremi.

Impatti (conseguenze, esiti): gli effetti sui sistemi naturali e umani. Il termine impatti è usato principalmente per riferirsi agli effetti degli eventi meteorologici e climatici estremi e dei cambiamenti climatici, sui sistemi naturali e umani. Gli impatti generalmente si riferiscono agli effetti su persone, abitazioni, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi (inclusi quelli ambientali) e infrastrutture dovuti all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi. Ci si riferisce inoltre agli impatti come a conseguenze ed esiti. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi geofisici, compresi alluvioni, siccità e innalzamento del livello del mare, rappresentano un sottoinsieme di impatti denominati impatti fisici.

Indicatori climatici. L'insieme dei parametri sintetici, derivanti da una o più grandezze meteorologiche fondamentali misurabili (temperatura, precipitazione, vento, etc.) individuati allo scopo di mettere in luce aspetti significativi dell'andamento medio meteorologico in una data zona, evidenziando le eventuali variazioni sul lungo periodo.

Modello climatico: La rappresentazione numerica del sistema climatico basata sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche delle sue componenti, sulle loro interazioni e processi di feedback, tenendo in considerazione alcune delle loro proprietà conosciute. Il sistema climatico può essere rappresentato da modelli di complessità variabile; vale a dire che per ciascuna componente o combinazione di componenti può essere identificato uno spettro o una gerarchia di modelli, diversi fra loro per alcuni aspetti, come il numero di dimensioni spaziali, l'ambito entro il quale i processi fisici, chimici, o biologici sono rappresentati in maniera esplicita, o il grado di parametrizzazioni empiriche utilizzato. I modelli di circolazione generale accoppiati atmosfera-oceano forniscono una rappresentazione del sistema climatico che è vicina o al termine più completo dello spettro attualmente disponibile. Esiste un'evoluzione verso modelli più complessi con chimica interattiva e biologia. I modelli climatici sono impiegati come strumenti di ricerca per studiare e simulare il clima, o con finalità operative, incluse le previsioni climatiche su base mensile, stagionale e inter-annuale.

Modello climatico regionale: si tratta di un modello climatico caratterizzato da una maggior risoluzione spazio-temporale rispetto ai modelli di circolazione generale; essi sono in grado di derivare le caratteristiche del clima sulla scala regionale (ovvero tra i 10 e 50 km circa).

Modello numerico di circolazione. È un tipo di modello climatico. Può essere di tipo generale (*General Circulation Model, GCM*) o regionale (*Regional Circulation Model, RCM*).

Percentile: Il percentile è un valore su una scala di 100 che indica la percentuale di valore del dataset analizzato che ha valori minori o uguali ad esso. Il percentile è spesso utilizzato per stimare gli estremi della distribuzione. Ad esempio il 90° (10°) percentile può essere utilizzato come riferimento per la soglia dei valori più alti (bassi).

Periodo di riferimento: Il periodo di riferimento è lo stato del sistema rispetto al quale il cambiamento è misurato. Nel documento attuale esso rappresenta il periodo a cui si riferiscono i valori atmosferici.

Proiezione climatica: una proiezione climatica è la risposta simulata del sistema climatico a uno scenario di emissioni future o di concentrazione di gas serra e aerosol, generalmente ricavata utilizzando i modelli climatici. Le proiezioni climatiche sono diverse dalle previsioni climatiche per la loro dipendenza dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativo utilizzato, a sua volta basato sulle ipotesi riguardanti, per esempio, i futuri sviluppi socio-economici e tecnologici che potrebbero essere realizzati o no

Scenario climatico: la rappresentazione plausibile e spesso semplificata del clima futuro, basata su un insieme internamente coerente di relazioni climatologiche, costruita per un suo uso esplicito nell'indagine delle potenziali conseguenze del cambiamento climatico antropogenico, e che serve spesso come input ai modelli sugli impatti. Le proiezioni climatiche spesso servono da materiale grezzo per costruire scenari climatici, ma gli scenari climatici di solito richiedono ulteriori informazioni, come per esempio sul clima attuale osservato.

Scenario di emissione: La rappresentazione plausibile del futuro sviluppo delle emissioni di sostanze che sono potenzialmente radiativamente attive (per esempio, gas serra e aerosol), basata su di un insieme coerente e internamente in accordo di assunzioni sulle forze trainanti (quali sviluppo demografico e socio-economico e cambiamenti tecnologici) e le loro relazioni chiave. Gli scenari di concentrazione, derivati dagli scenari di emissione, sono impiegati come input dei modelli climatici, per calcolare le proiezioni climatiche.

Variabilità climatica: con il termine variabilità climatica ci si riferisce alle variazioni dello stato medio e di altre statistiche (come la deviazione standard, l'occorrenza di eventi estremi, etc.) del clima a tutte le scale spaziali e temporali oltre a quella dei singoli eventi meteorologici. La variabilità

può essere dovuta a processi interni naturali, all'interno del sistema climatico (variabilità interna), o a variazioni del forzante esterno naturale o antropogenico (variabilità esterna).