



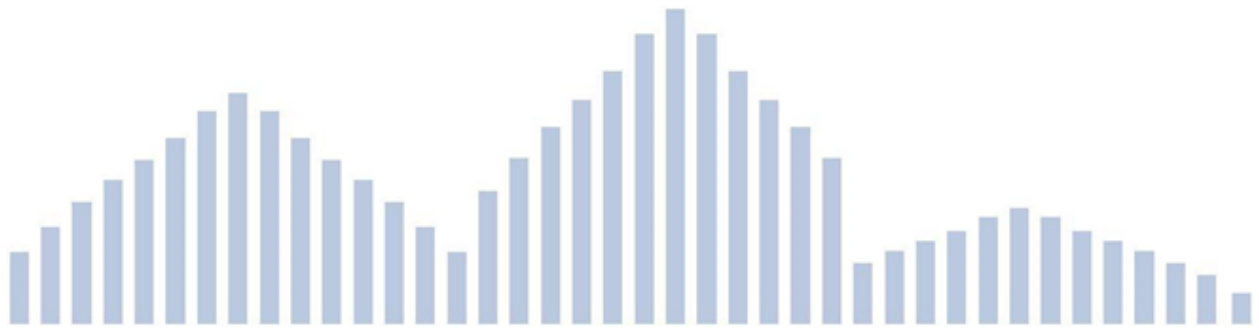
Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Profilo climatico locale per il comune di Sassari





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione	3
Andamento temporale della variabilità climatica osservata	5
Scenari climatici locali disponibili	13
Conclusioni	27
Glossario	29
Allegato 1: Reliability ensemble averaging	32
Bibliografia	37
Link a siti internet	39

Il documento è stato sviluppato dalla Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).

Autori: Giuliana Barbato (CMCC), Veronica Villani (CMCC), Alessandra Lucia Zollo (CMCC), Paola Mercogliano (CMCC)

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione

Il presente documento ha lo scopo di descrivere il profilo climatico locale del comune di Sassari, 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 abbiano avuto come causa dominante l’attività antropogenica (IPCC, AR4, 2007). 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, il WMO (WMO, 2007) stabilisce in 30 anni 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 *Andamento temporale della variabilità climatica osservata* è riportata l’analisi dei dati osservati. Nello specifico tale analisi è realizzata nel periodo 1981-2010 a partire dai dati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione della *stazione di Sassari*, la cui fonte è *A.R.P.A.S.-Dipartimento Meteorologico*. Tale analisi descrive la variabilità temporale nel periodo 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, 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 RCP4.5¹ e RCP8.5², a partire dai dati simulati dei modelli climatici regionali

¹Lo scenario IPCC RCP4.5 (stabilizzazione medio-basso) prevede che entro il 2070 le emissioni di CO₂ scendono al di sotto dei livelli attuali e la concentrazione atmosferica si stabilizza entro la fine del secolo a circa il doppio dei livelli preindustriali.

²Lo scenario IPCC RCP 8.5 (emissioni elevate) prevede che entro il 2100 le concentrazioni atmosferiche di CO₂ sono triplicate o quadruplicate rispetto ai livelli preindustriali.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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 con 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 (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 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.

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,2014), (Kotlarski, 2014).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Andamento temporale della variabilità climatica osservata

Il comune di Sassari, come riportato nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2017), risulta appartenere, sulla base dei dati E-OBS (Haylock et al. 2000), alla macroregione 6 che identifica le aree insulari e l'estremo sud dell'Italia. Tale macroregione risulta essere l'area del territorio italiano mediamente più calda e secca, contraddistinta dalla temperatura media più alta e dal più alto numero di giorni annui consecutivi senza pioggia, dalle precipitazioni estive mediamente più basse e in generale da eventi estremi di precipitazione ridotti per frequenza e magnitudo.

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 locale del clima 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 Sassari, 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 Sassari, che si trova in località Serra Secca (SS). La posizione geografica della stazione disponibile per il comune di Sassari è riportata nella Figura 1.



Figura 1: Posizione geografica della stazione meteo (fonte ARPAS) disponibile per il comune di Sassari.

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.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



- ✓ **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 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). Nella Tabella 1 viene riportato il numero totale di anni con dati validi (percentuale di dati mancanti inferiore al 25%), per la stazione di Sassari e per ogni variabile considerata: sono stati esclusi 11 anni per le temperature (minime e massime) e 6 anni per la precipitazione, in quanto era presente una percentuale di dati non validi superiore al 25%.

Tabella 1: Numero totale di anni con dati validi (percentuale di dati mancanti inferiore al 25%), per ogni variabile considerata. Inoltre, sono indicati gli anni con dati non validi (percentuale di dati mancanti superiore al 25%).

	Stazione Sassari	
	Temperatura	Precipitazione
Numero massimo di anni	30	30
Numero totale di anni disponibili	19	24
Completezza	63%	80%
Anni con dati non validi	1981,1982,1983,1984 2004,2005,2006,2007 2008,2009,2010	1981,1982,1983 1984,1985,2010

A valle dei controlli di qualità e omogeneità dei dati in situ, 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 (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945), necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrescita significativo;



- serie temporali annuali di indicatori di temperatura e precipitazione con trend e valutazione della significatività statistica tramite il Test di Mann-Kendall (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945), necessaria per l'individuazione di un trend di crescita/decrecita significativo.

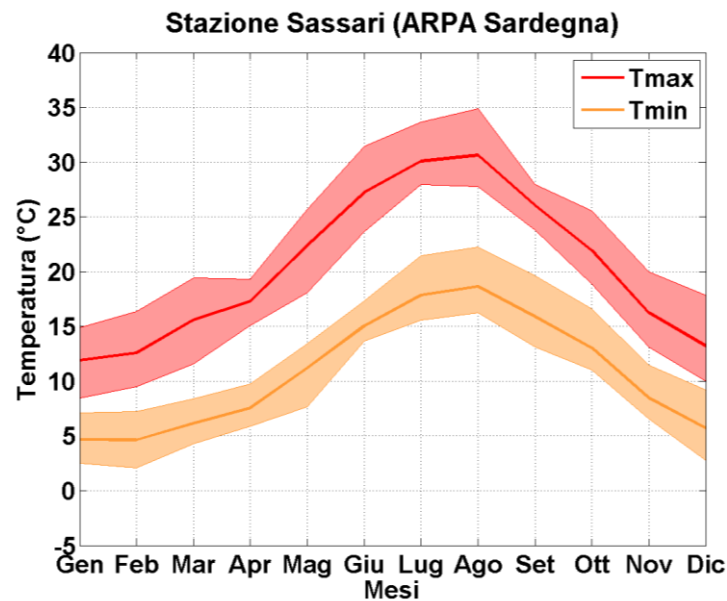


Figura 2: Ciclo stagionale di temperatura minima e massima. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile sul periodo di riferimento.

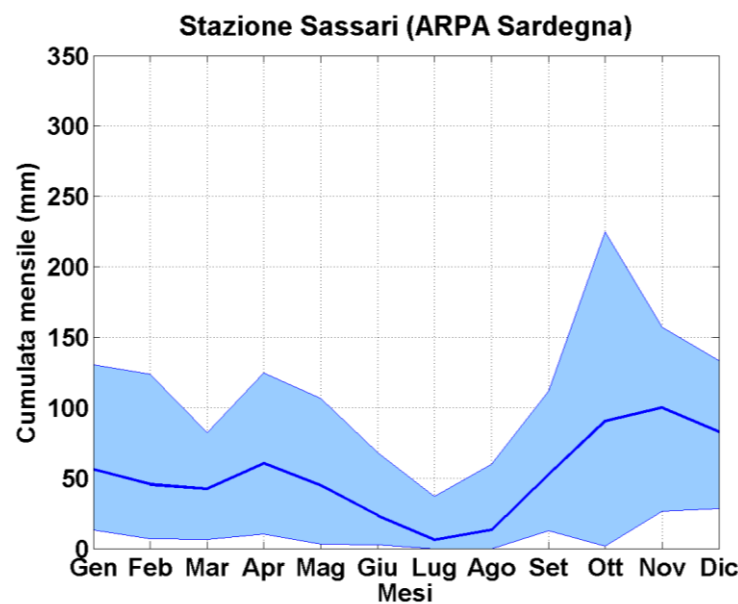


Figura 3: Ciclo stagionale di precipitazione cumulata mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile sul periodo di riferimento.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



In Figura 2 sono riportati i cicli stagionali (andamenti medi mensili) di temperatura minima (Tmin) e massima (Tmax), mentre in

Figura 3 quelli di precipitazione (Pr). 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 2 evidenzia che le temperature assumono valori più bassi nei mesi di Dicembre e Gennaio (con una Tmin intorno a 5°C e Tmax intorno ai 12°C); al contempo, i massimi valori sono registrati tra Luglio e Agosto, con la Tmax che raggiunge all'incirca i 30°C e la Tmin di 14°C. La primavera e l'autunno mostrano valori intermedi e comparabili. Inoltre, i mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo mostrano una maggiore dispersione in termini di temperature minime e massime (come mostrato in Figura 2).

Per quanto riguarda la precipitazione (Figura 2), i valori sono calcolati cumulando i dati giornalieri su base mensile. Per le precipitazioni, si osservano diversi picchi annuali: uno ad Ottobre (di circa 90millimetri/mese), un terzo a Novembre (di circa 100 millimetri/mese) un terzo meno intenso ad Aprile (di circa 60 millimetri/mese). Ottobre rappresenta il mese caratterizzato dalla dispersione maggiore; infatti per il mese di Ottobre il 95° percentile è di circa 220 millimetri rispetto al valore medio di 90 millimetri. Nel mese di Luglio si registrano i valori mensili più bassi intorno ai 10millimetri/mese.

Inoltre in vengono riportate le serie temporali annuali di temperatura massima e minima, le uniche per le quale il test di Mann Kendall abbia mostrato un test significativo (a livello di significatività del 95%) sul periodo di analisi. La temperatura massima durante il periodo 1985-2003 mostra una tendenza all'aumento (trend=0.13) mentre la temperatura minima una leggera riduzione (trend=-0.09).

L'andamento dell'anomalia di temperatura minima e massima (Figure 5) mostra dei picchi di anomalia annua di 2.5 °C per la temperatura massima negli anni 1995 e 2003. Infine, in Tabella 2 sono riportati anche i valori medi di temperatura (minima e massima) e di precipitazione cumulata su scala annuale e stagionale. In termini di temperatura, si osserva una temperatura massima media di circa 30°C durante l'estate e una temperatura minima media di circa 5°C durante l'inverno. Invece in termini di precipitazione, l'autunno risulta essere la stagione più piovosa (con 243 millimetri) mentre l'estate è caratterizzata da precipitazioni basse di circa 43 millimetri.

Tabella 2: Valori medi (stagionali ed annuali) di precipitazione cumulata (Pr), di temperatura massima (Tmax) e di temperatura minima (Tmin).

	Stazione Sassari		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PR (mm)
Inverno (DJF)	5.0	12.7	177
Primavera (MAM)	8.3	18.4	148
Estate(JJA)	17.2	29.4	43

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



Autunno (SON)	12.5	21.5	243
Annua	10.8	20.5	618

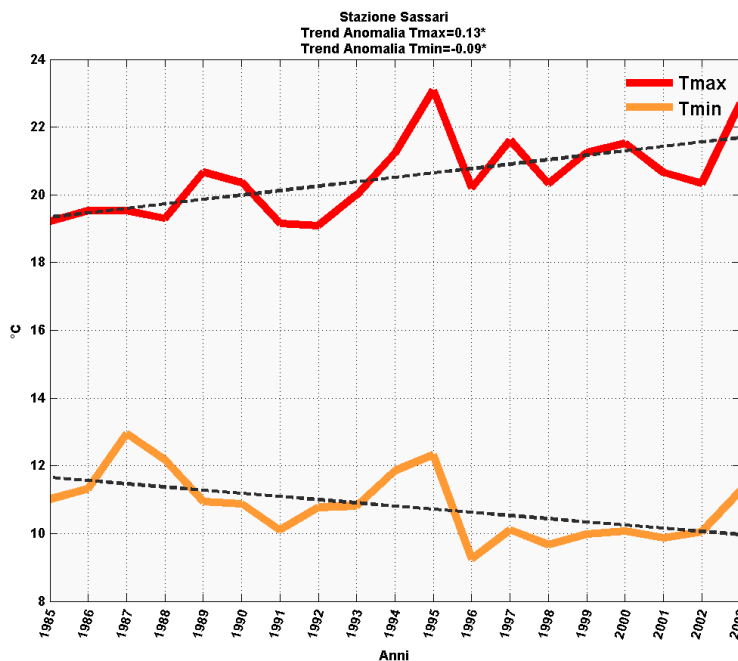


Figura 4: Serie temporale annuale della temperatura massima (Tmax) e della temperatura minima (Tmin) per la stazione di Sassari. In nero la linea di trend trend (i trend che risultano statisticamente significativi sono individuati da un asterisco).

Sebbene i valori medi siano fondamentali per la definizione delle caratteristiche climatiche medie, i valori estremi sono in grado usualmente di produrre le maggiori criticità sul territorio con magnitudo e caratteristiche differenti, soprattutto in base al contesto geomorfologico e costruito presente. Per tale motivo, in Tabella 3 sono riportati, su base annuale, i valori corrispondenti al 95° e 99° percentile delle distribuzioni di precipitazione (Pr) e temperatura massima (Tmax) e 1° e 5° percentile della distribuzione di temperatura minima (Tmin). I percentili restituiscono l'intensità dei valori più estremi, in questo caso osservati, con informazioni indirette di grande utilità per gli studi di impatto e per il dimensionamento delle infrastrutture

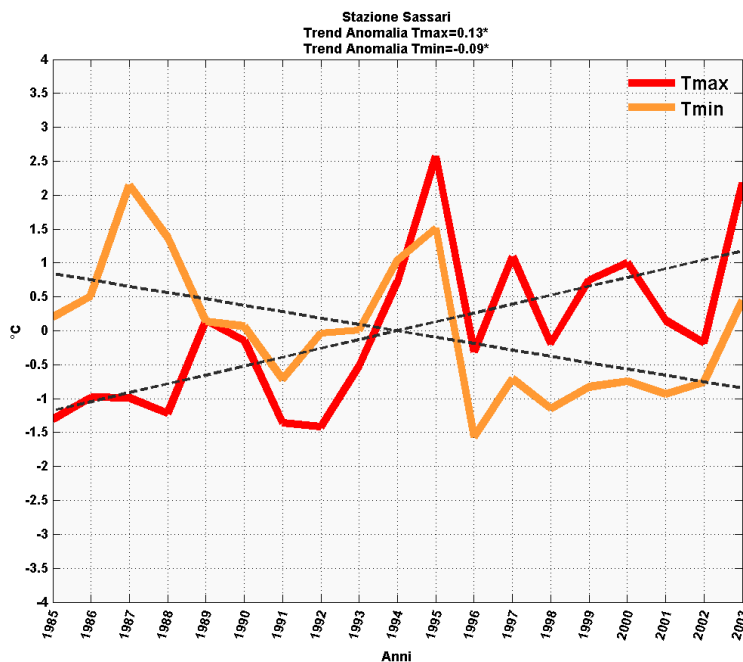


Figura 5: Andamento temporale dell’anomalia di temperatura massima (Tmax) e di temperatura minima (Tmin) rispetto al valore medio sul periodo di analisi per la stazione di Sassari. In nero la linea di trend (i trend che risultano statisticamente significativi sono individuati da un asterisco).

Tabella 3: Valori corrispondenti al 95° e 99° percentile delle distribuzioni di precipitazione (Pr) e temperatura massima (Tmax) e 1° e 5° percentile della distribuzione di temperatura minima (Tmin).

	Stazione Sassari		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pr (mm)
1° percentile	0	/	/
5° percentile	2.5	/	/
95° percentile	/	33	27
99° percentile	/	36	45

Per finalità simili, diversi indicatori sintetici (medi e/o estremi) sono comunemente utilizzati in letteratura per la 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’ ETCCDI³. Tali indicatori descrivono principalmente l’intensità

³Questi indicatori stimano le caratteristiche di eventi identificati come “moderately rare weather events”, ed includono la frequenza, l’intensità e la persistenza di una condizione atmosferica; essi sono largamente utilizzati per valutare la variazione di questo tipo di eventi nel contesto del cambiamento climatico.



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 sono stati riportati alcuni degli indicatori ETCCDI [J], selezionati per descrivere la variabilità climatica dell'area geografica di interesse.

Tabella 4: acronimo utilizzato e definizione corrispondente degli indicatori utilizzati per l'analisi degli estremi.

Acronimo	Indicatore
HW/HD	(hot wave o warm days) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C
FD	(frost days) il numero di giorni di gelo definiti come il numero di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera inferiore ai 0°C
R10	numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore
PRCPTOT	cumulata (somma) della precipitazione annuale per i giorni con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
SDII	precipitazione media giornaliera nei giorni precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
RX5DAY	massimo di precipitazione su 5 giorni consecutivi su scala annuale
HI	Numero di giorni di disagio termico dovuto alle alte temperature (si basa sulla temperatura massima giornaliera e all'umidità relativa)
CDD	numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm
CWD	numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione maggiore o uguale ad 1 mm
RR1	numero di giorni all'anno con pioggia maggiore o uguale ad 1 millimetro

La stazione di Sassari è caratterizzata da un numero medio di giorni all'anno con temperatura minima minore di 0°C (FD) pari a 2 mentre il numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C (HW) è pari a 5.

In termini di precipitazione, Sassari risulta caratterizzata da circa 60 giorni annui consecutivi senza pioggia (CDD) e da una precipitazione media giornaliera nei giorni con precipitazione maggiore di 1 mm (SDII) relativamente bassa (di 9 mm). I valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 1981-2010 vengono riportati nella Tabella 5 (ad esclusione dell'indicatore Humindex in quanto per il suo calcolo è necessario disporre della variabile umidità relativa che per l'osservato non è stata presa in considerazione).

Confrontando i risultati ottenuti, a partire dai dati registrati dalla stazione di Sassari, con le caratteristiche climatiche della macroregione 6 presentata nel documento PNACC, la stazione di Sassari si ottengono valori medi di temperatura simili (la temperatura media annuale individuata nella macroregione 6 è di 16 °C mentre a Sassari si osserva una temperatura minima di 10.8 °C e una temperatura massima di 20.5 °C). In termini di precipitazione, per la macroregione 6 si osservano valori medi di precipitazione invernale (PR DJF) di circa 179 mm (con deviazione standard +/-61 mm) e numero massimo medio di giorni consecutivi (CDD) di 70 giorni (con deviazione standard +/-16 giorni).

[La cooperazione al cuore del Mediterraneo](#)

[La coopération au cœur de la Méditerranée](#)



Tabella 5: Valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 1981-2010.

	HW [giorni/anno]	FD [giorni/anno]					
Sassari (ARPA)	5	2					
	R10 [giorni/anno]	PRCPTOT [mm/anno]	SDII [mm/giorno]	RX5DAY [mm/5giorni]	CDD [giorni/anno]	CWD [giorni/anno]	RR1 [giorni/anno]
Sassari (ARPA)	20	606	9	82	58	6	69

In Figura 6 è riportata la serie temporale annuale dell'indicatore HW (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35 °C), l'unica per la quale il test di Mann Kendall abbia mostrato un test significativo (a livello di significatività del 95%) sul periodo di riferimento 1981-2010. Come mostrato in Figura 6, si osserva un trend di crescita (trend=0.74).

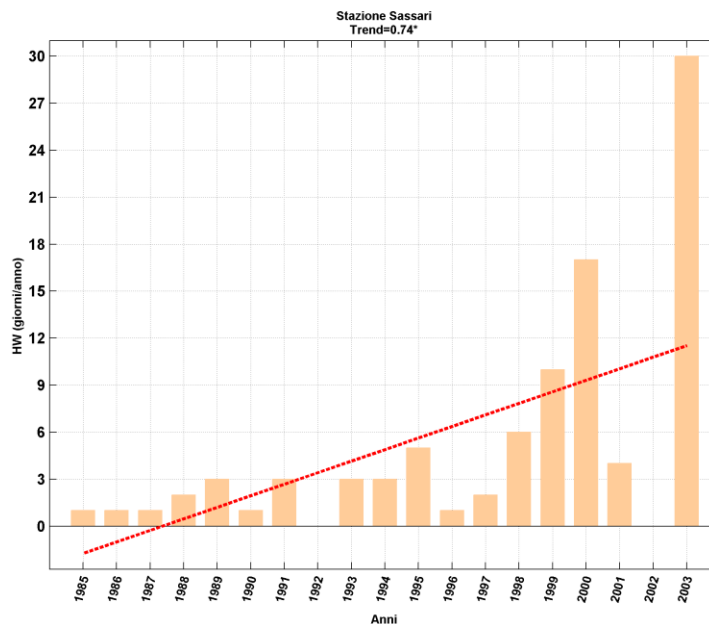


Figura 6: Serie temporale annuale dell'indicatore hw per la stazione di Sassari (ARPAS). In rosso la linea di trend.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Scenari climatici locali disponibili

Per valutare il clima su una scala regionale, esistono principalmente due tecniche di “regionalizzazione”: 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 le predittori sinottici (su larga scala) e quelle locali, quest'ultime disponibili tramite lunghe serie temporali di osservazioni delle variabili di interesse utili per derivare e validare le relazioni statistiche, e hanno il vantaggio di permettere di arrivare al punto/stazione.

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 sull'Italia 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 IPCC selezionato per quanto attiene l'andamento futuro previsto per la concentrazione di gas climalteranti fino al 2100 (Van Vuuren et al., 2011), di valutare l'andamento atteso dei parametri atmosferici di interesse, specialmente temperatura e precipitazione. 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, permette di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse. Si rimanda alla letteratura di riferimento per maggiori dettagli rispetto a tale problematica.

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 Sassari. Nello specifico, per



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



caratterizzare le anomalie climatiche attese, è stato selezionato un box costituito da 9 punti griglia per i modelli di simulazione 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. 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 (IPCC 2013a).

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, in Tabella sono riportati i valori delle anomalie (in termini di media delle anomalie dei diversi modelli) annuali e stagionali di temperatura e precipitazione per i tre periodi di interesse e 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, si proietta una diminuzione delle precipitazioni annuali a medio e lungo termine. In particolare, gli scenari indicano una diminuzione delle precipitazioni primaverili ed estive generalmente maggiore se si considera lo scenario RCP8.5 e più forte nel periodo 2071-2100. In termini di temperatura, è atteso un generale aumento 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 a lungo termine, si raggiunge mediamente anche un aumento dei valori di temperatura superiore a 4°C in estate.

Inoltre, è stato analizzato l'ensemble mean delle anomalie (Figure 7-8) degli indicatori estremi di temperatura e precipitazione.

In termini di temperatura, in Figura 7, è evidente come in futuro sia atteso un aumento delle temperature, più pronunciato nel periodo a lungo termine e considerando lo scenario RCP8.5 (più pessimista); in particolare, in Figura 7, è evidente un forte aumento del numero di giorni all'anno

[La cooperazione al cuore del Mediterraneo](#)

[La coopération au cœur de la Méditerranée](#)



con temperature massime maggiori di 35 °C (hw) e con temperatura giornaliera percepita maggiore o uguale a 45 °C (humidex5). Inoltre, il comune di Sassari è interessato da una riduzione del numero di giorni con temperatura minima minore di 0 °C (fd).

Tabella 6: Anomalie (in termini di media delle anomalie dei diversi modelli) annuali e 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 Sassari.

	Sassari										
	RCP4.5					RCP8.5					
	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	1	3	-1	-3	4	0	-1	1	-8	3	2011-2040
Tmin (°C)	0.8	0.7	0.6	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	1.1	1.0	
Tmean (°C)	0.8	0.7	0.6	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	1.0	0.9	
Tmax (°C)	0.7	0.7	0.6	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	1.0	0.9	
Pr (%)	-3	-1	-6	-14	2	-1	3	-10	-7	4	2041-2070
Tmin (°C)	1.4	1.3	1.1	1.9	1.5	2.1	1.8	1.7	2.5	2.3	
Tmean (°C)	1.5	1.3	1.1	1.9	1.5	2.1	1.8	1.8	2.5	2.2	
Tmax (°C)	1.5	1.3	1.2	2.0	1.4	2.1	1.8	1.9	2.4	2.2	
Pr (%)	-1	2	-9	-6	2	-9	-7	-18	-26	-5	2071-2100
Tmin (°C)	1.9	1.7	1.6	2.3	2.1	3.7	3.1	3.1	4.5	4.0	
Tmean (°C)	1.9	1.7	1.6	2.2	2.0	3.7	3.2	3.2	4.5	3.9	
Tmax (°C)	1.9	1.7	1.7	2.2	2.0	3.8	3.2	3.4	4.6	3.9	

Inoltre, è stato analizzato l'ensemble mean delle anomalie (Figure 7-8) degli indicatori estremi di temperatura e precipitazione.

In termini di temperatura, in Figura 7, è evidente come in futuro sia atteso un aumento delle temperature, più pronunciato nel periodo a lungo termine e considerando lo scenario RCP8.5 (più pessimista); in particolare, in Figura 7, è evidente un forte aumento del numero di giorni all'anno con temperature massime maggiori di 35 °C (hw) e con temperatura giornaliera percepita maggiore o uguale a 45 °C (humidex5). Inoltre, il comune di Sassari è interessato da una riduzione del numero di giorni con temperatura minima minore di 0 °C (fd).

In termini di precipitazione, in Figura 8, si evince come sia atteso un aumento dell'intensità della precipitazione (sdii), dei cumuli massimi di precipitazione su 5 giorni (rx5day) e del massimo numero di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 millimetro (cdd), più pronunciato secondo lo scenario RCP8.5 e considerando il periodo 2071-2100. Di contro, in generale è attesa una riduzione del numero di giorni di pioggia (rr1) e del massimo numero di giorni di pioggia consecutivi all'anno (cwd). Inoltre, a lungo termine, secondo lo scenario RCP8.5,



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



è attesa una diminuzione del numero di giorni con precipitazione maggiore uguale a 10 mm (r10) e della precipitazione annuale nei giorni di pioggia (prcptot).

In allegato 1, vengono mostrati gli stessi risultati ottenuti in termini di media pesata dei diversi modelli che concorrono alla valutazione dei diversi indicatori utilizzando l'approccio sperimentale fornito da Giorgi e Mearns (2002), noto come "REA" (Reliability Ensemble Averaging). Tale approccio, nello specifico, si basa sul presupposto di dare un peso maggiore ai modelli con migliori performance sul presente nel rappresentare gli andamenti delle variabili di interesse (medi ed estremi).

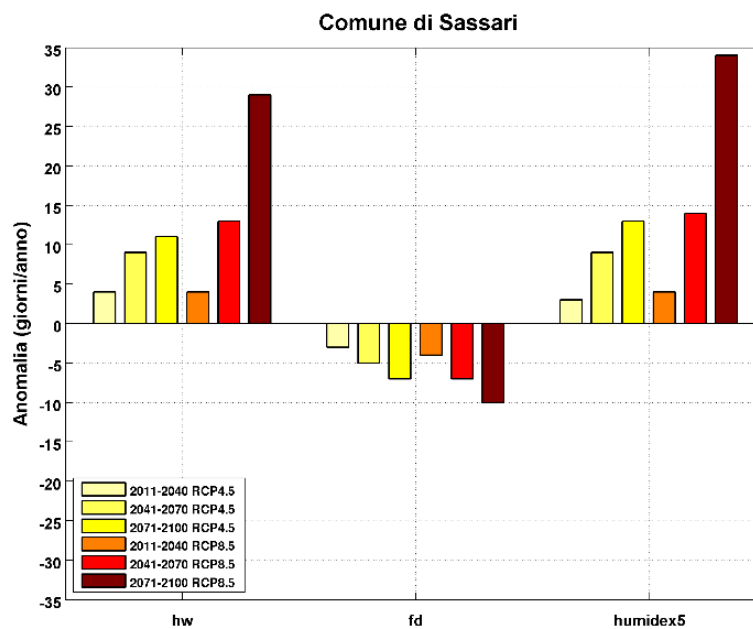


Figura 7: Anomalie degli indicatori di temperatura per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010

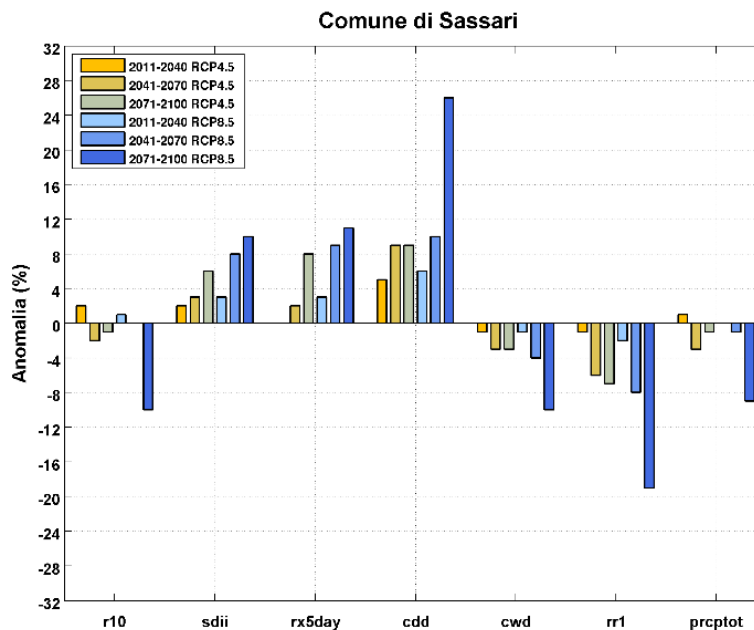


Figura 8: Anomalie degli indicatori di precipitazione per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

Nel prosieguo, è stato utilizzato il test di Mann-Kendall (Kendall, 1975) 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 da 9 a 17 mostrano la serie temporale dei valori annuali degli indicatori estremi di temperatura (Figure da 9 a 11) e precipitazione (Figure da 12 a 17) ed 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 individuati da un asterisco. Le aree ombreggiate, presenti in tali Figure, rappresentano il range di incertezza ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard 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, in Figura 9, in accordo con lo scenario RCP8.5, si evince un aumento dell'indicatore hw, mentre l'aumento è più lieve secondo lo scenario RCP4.5. Le aree ombreggiate mostrano una dispersione lievemente più ampia sul periodo a lungo termine che risulta più evidente per lo scenario RCP8.5. Mediamente nel range di incertezza cadono 11 modelli su 18.



- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

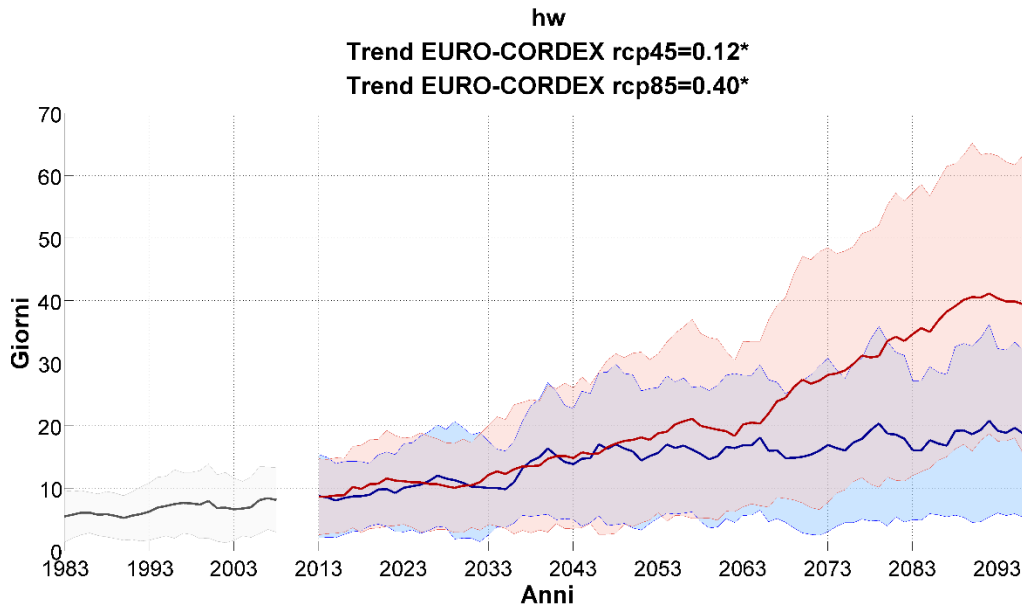


Figura 9: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore hw, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	11/18	11/18	11/18



Nella Figura 10, in accordo con entrambi gli scenari, si evince una diminuzione dell'indicatore fd, più significativa per lo scenario RCP8.5. Inoltre, si osserva che la dispersione si restringe sul periodo a lungo termine soprattutto per lo scenario RCP8.5. Mediamente nel range di incertezza cadono la maggior parte dei modelli.

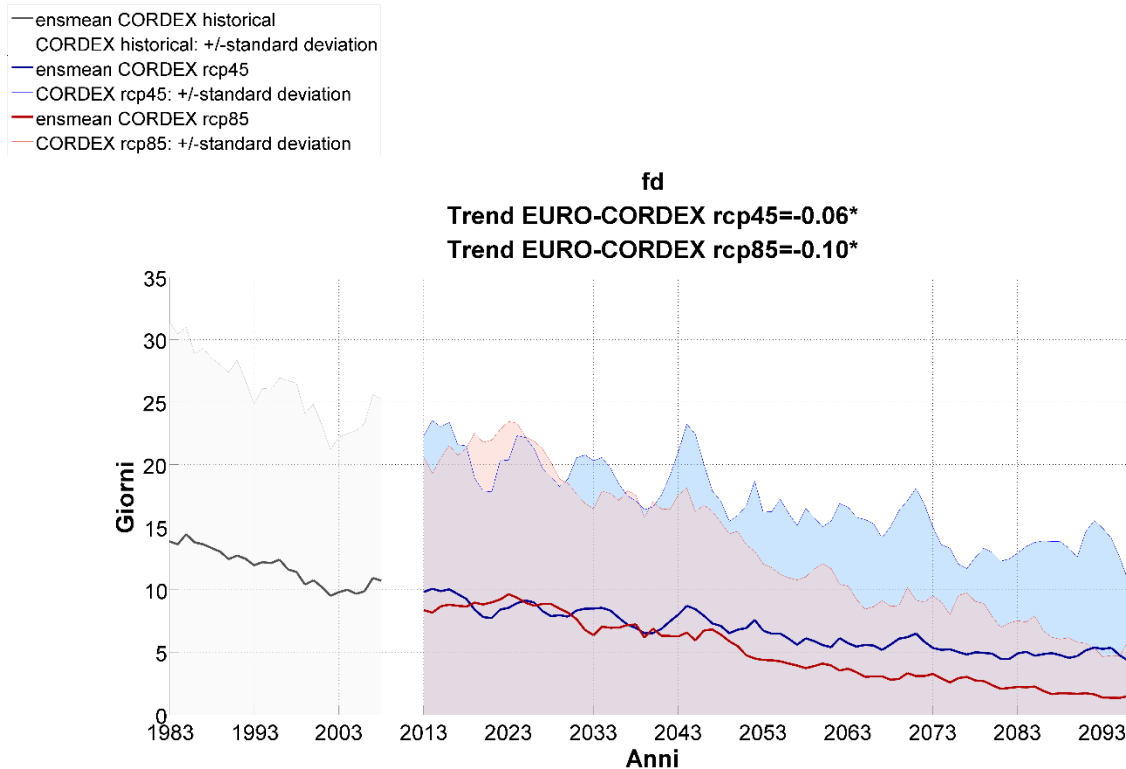


Figura 10: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore fd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	17/18	17/18	16/18



Infine, nella Figura 11, in accordo con entrambi gli scenari, si evince un aumento dell'indicatore humidex5, più evidente nel periodo a lungo termine e secondo lo scenario RCP8.5. Per quanto riguarda la dispersione dei modelli intorno all'ensemble mean, in generale il range di incertezza è ampio e in esso ricadono mediamente quasi tutti i modelli. Lo scenario RCP8.5 presenta una riduzione del range di incertezza sul periodo a lungo termine.

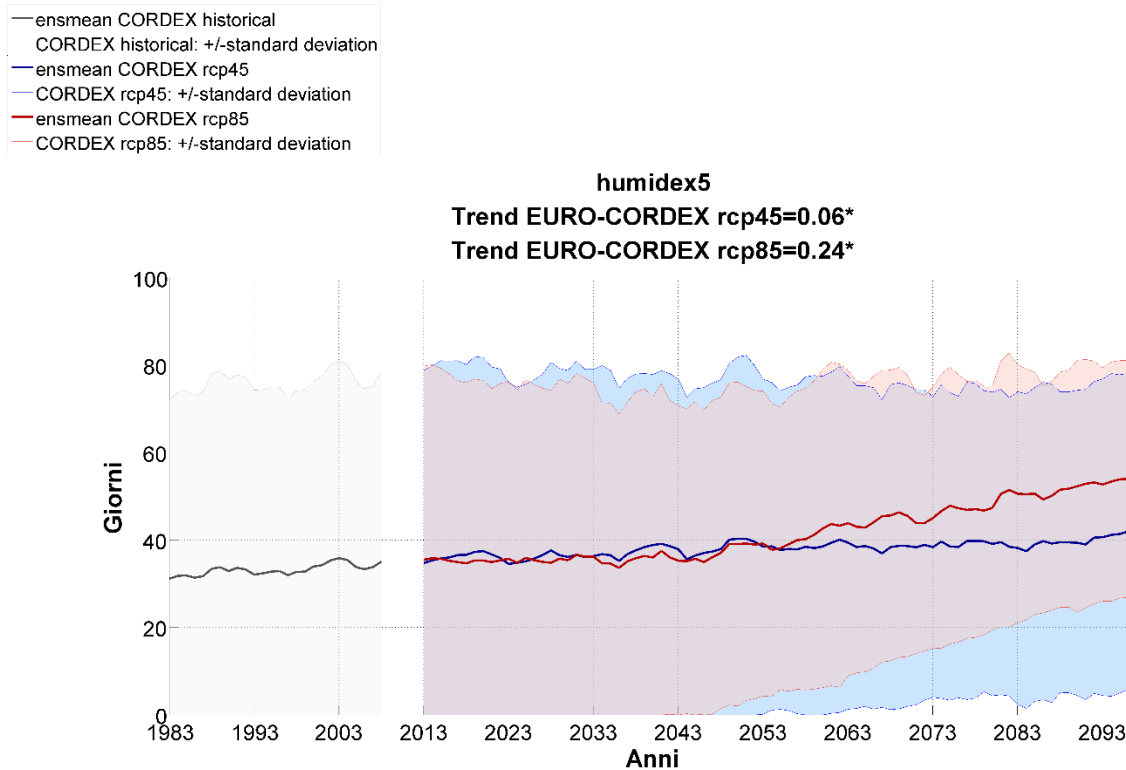


Figura 11: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore humidex5, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	12/12	12/12	11/12



In termini di precipitazione, si evince un trend di crescita statisticamente significativo per gli indicatori sdii (Figura 12), rx5day (Figura 13), cdd (Figura 15) e rr1 (Figura 16) secondo entrambi gli scenari, mentre, per l'indicatore cwd (Figura 14), lo scenario RCP8.5 mostra un trend di decrescita statisticamente significativo. In particolare, in Figura 13 e in Figura 14, si evince rispettivamente un aumento dell'intensità di pioggia e dei massimi di precipitazione su 5 giorni, più evidente secondo lo scenario RCP8.5. Per quanto riguarda la dispersione dei modelli intorno all'ensemble mean, sia in Figura 12 che in Figura 13, si ha un aumento del range di incertezza sul periodo a lungo termine, più evidente secondo lo scenario RCP8.5. Mediamente, in entrambi i casi, il range di incertezza include quasi tutti i modelli.

- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

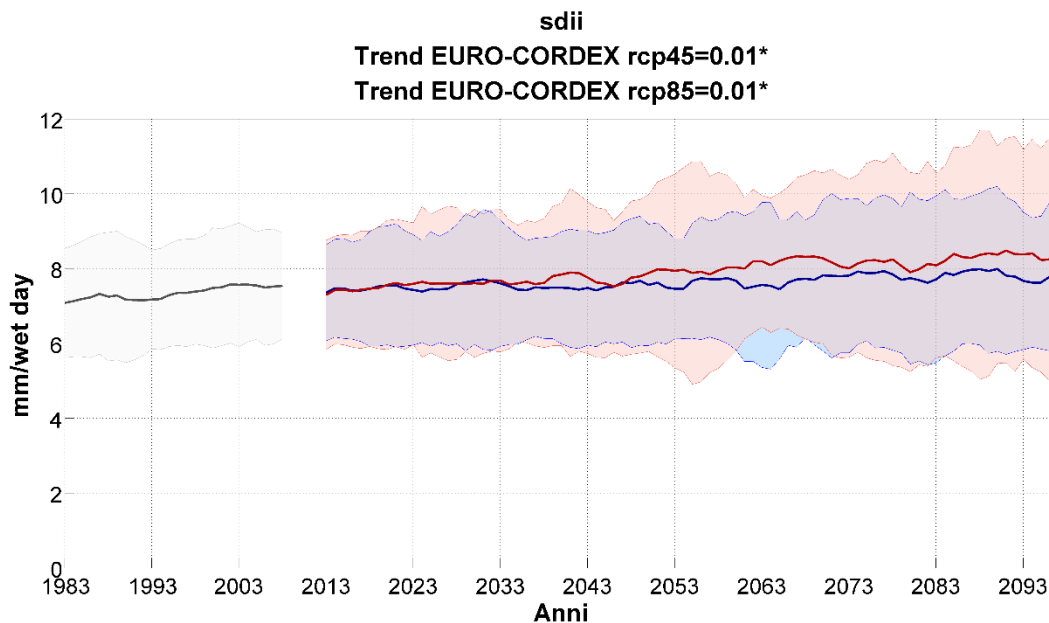


Figura 12: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore sdii, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	16/18	16/18	16/18

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

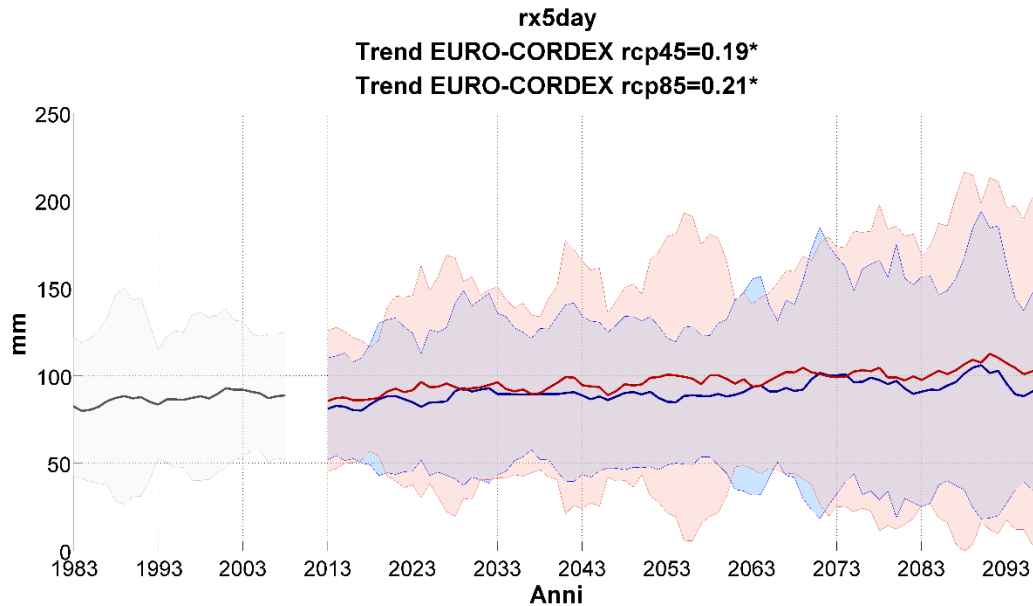


Figura 13: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore rx5day, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	17/18	17/18	17/18



In accordo con lo scenario RCP8.5, si evince una lieve diminuzioni del massimo numero di giorni di pioggia consecutivi all'anno (Figura 14), di contro, è atteso un aumento del massimo numero di giorni con assenza di precipitazioni (Figura 15). Lo scenario RCP4.5, invece, presenta per l'indicatore cwd un segnale stazionario ma non statisticamente significativo e per l'indicatore cdd un lieve aumento statisticamente significativo. Sia in Figura 14 che in Figura 15, si ha un lieve aumento della dispersione sul periodo a lungo termine per lo scenario RCP8.5. Il numero di modelli mediamente contenuto nel range di incertezza è pari a 15 su 18 per cwd e a 13 su 18 per cdd.

- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

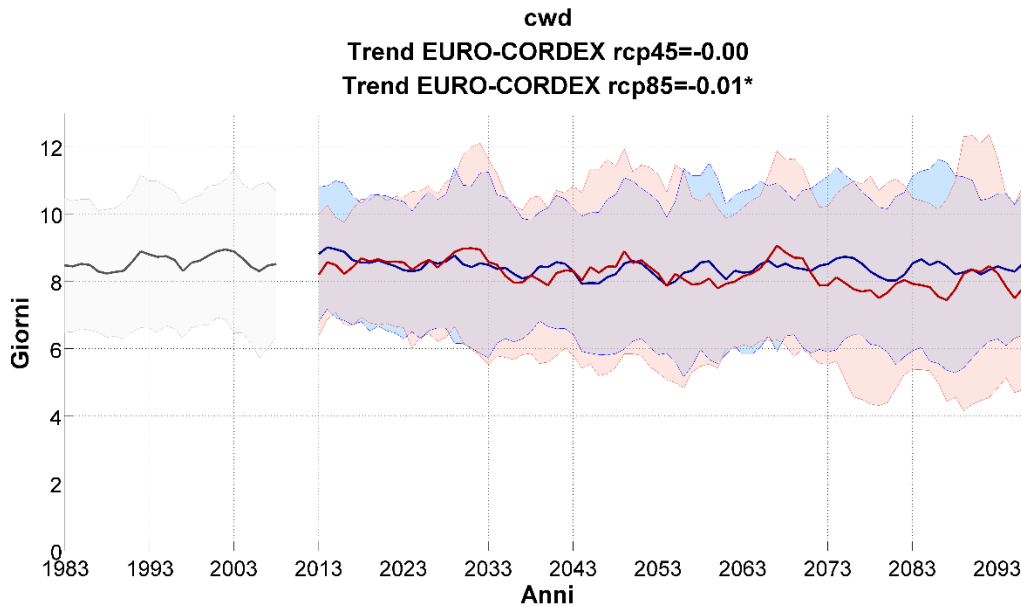


Figura 14: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore cwd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	14/18	15/18	15/18



- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

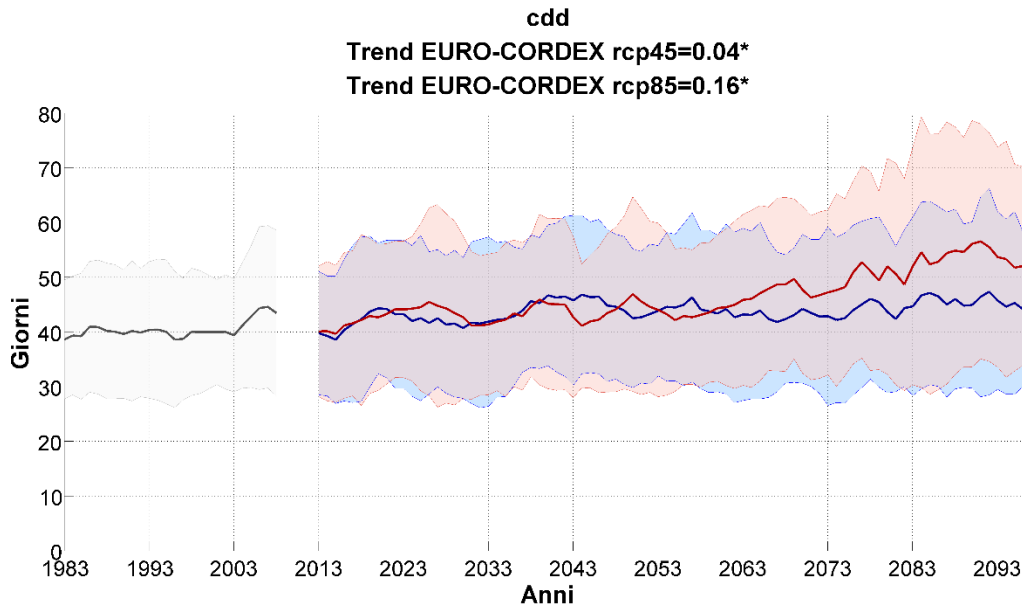


Figura 15: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore cdd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	13/18	13/18	12/18



In Figura 16, è proiettata una diminuzione dei giorni di pioggia statisticamente significativa, che risulta maggiore secondo lo scenario RCP8.5. In generale, il range di incertezza mostra una variabilità contenuta secondo entrambi gli scenari, in cui cadono mediamente 14 modelli su 18.

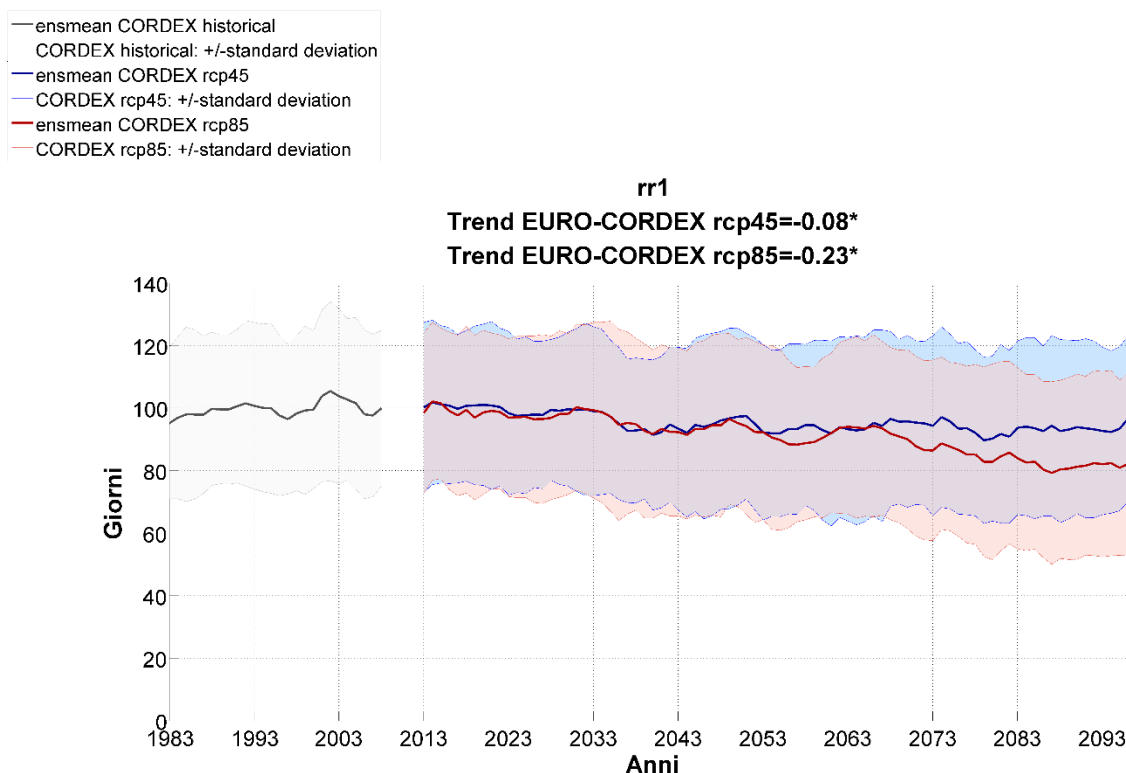


Figura 16: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore rr1, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	14/18	14/18	14/18



In Figura 17, in accordo con entrambi gli scenari, non si ha un trend statisticamente significativo per l'indicatore prcptot. In generale, il range di incertezza mostra un'ampia variabilità, maggiore sul periodo a lungo termine in cui cadono la maggior parte dei modelli.

- ensmean CORDEX historical
- CORDEX historical: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp45
- CORDEX rcp45: +/-standard deviation
- ensmean CORDEX rcp85
- CORDEX rcp85: +/-standard deviation

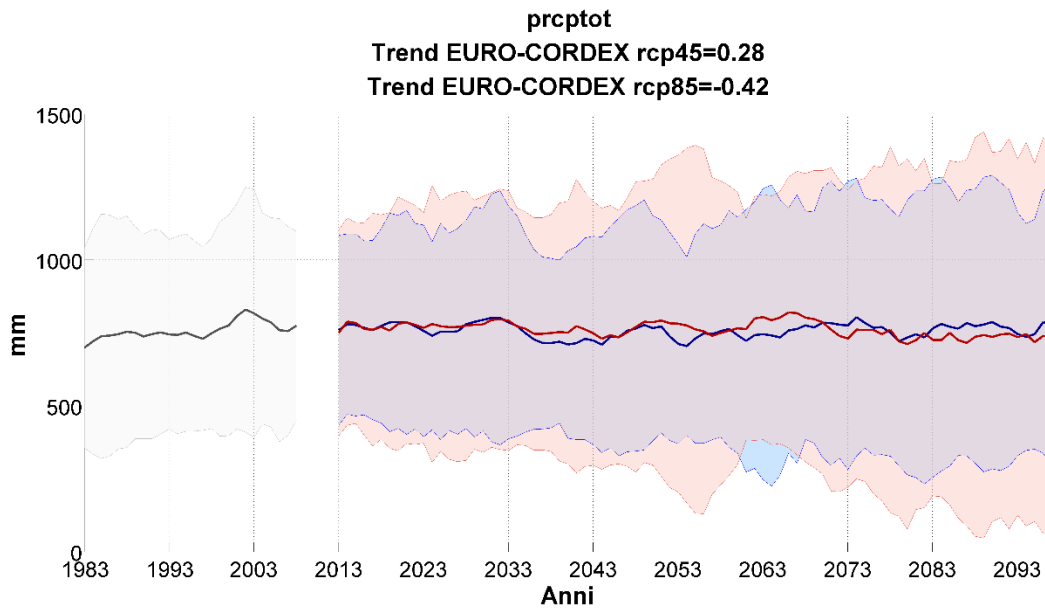


Figura 17: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo all'ensemble mean la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni. Sono state considerate tutte le simulazioni EURO-CORDEX attualmente disponibili e in comune tra il periodo storico e gli scenari RCP4.5 ed RCP8.5, ovvero 18. I risultati sono ottenuti effettuando una media mobile su una finestra di 5 anni.

	STORICO	RCP4.5	RCP8.5
Numero medio di modelli nella fascia di incertezza	17/18	17/18	17/18



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Conclusioni

Una caratterizzazione della variabilità climatica locale osservata per il comune di Sassari è stata presentata sul periodo 1981-2010 a partire dai dati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione della *stazione di Sassari*, la cui fonte è *A.R.P.A.S.-Dipartimento Meteoclimatico*. 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 circa 30°C durante l'estate e una temperatura minima media di circa 5°C durante l'inverno. Invece in termini di precipitazione, l'autunno risulta essere la stagione più piovosa (con 243 millimetri in media di pioggia cumulata sull'intera stagione) mentre l'estate è caratterizzata da precipitazioni basse di circa 43 millimetri.

La stazione di Sassari è caratterizzata da un numero medio di giorni all'anno con temperatura minima minore di 0°C (fd) pari a 2 mentre il numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C (hw) è pari a 5.

In termini di precipitazione, Sassari risulta essere caratterizzata, in media, da circa 60 giorni annui consecutivi con assenza di pioggia (cdd) e da una precipitazione media giornaliera nei giorni con precipitazione maggiore di 1 mm (sdii) relativamente bassa (di 9 mm).

Di 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 più pronunciato nel periodo a lungo termine e considerando lo scenario RCP8.5 (più pessimista); in particolare è evidente un forte aumento del numero di giorni all'anno con temperature massime maggiori di 35 °C (hw) e con temperatura giornaliera percepita maggiore o uguale a 45 °C (humidex5). Inoltre, il comune di Sassari è interessato da una riduzione del numero di giorni con temperatura minima minore di 0 °C (fd).

In termini di precipitazione, si evince come sia atteso un aumento dell'intensità della precipitazione (sdii), dei cumuli massimi di precipitazione su 5 giorni (rx5day) e del massimo numero di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 millimetro (cdd), più

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



pronunciato secondo lo scenario RCP8.5 e considerando il periodo 2071-2100. Di contro, in generale è attesa una riduzione del numero di giorni di pioggia (rr1) e del massimo numero di giorni di pioggia consecutivi all'anno (cwd). Inoltre, a lungo termine, secondo lo scenario RCP8.5, è attesa una diminuzione del numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm (r10) e della precipitazione annuale nei giorni di pioggia (prcptot).

Il profilo climatico locale del comune di Sassari, 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.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Glossario⁴

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

Antropogenico: Causato dagli esseri umani.

Cambiamento climatico: con il termine cambiamento climatico ci si riferisce a 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. Si noti che la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), 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, l'UNFCCC 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.

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. Nel Rapporto WGII AR5 dell'IPCC, 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

⁴ Glossario estratto da Caciagli L. Glossario minimo dell'IPCC http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf



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.

Livello medio dei mari: Il livello della superficie degli oceani in uno specifico punto, mediato su un periodo di tempo prolungato, come un mese o un anno. Il livello medio del mare è spesso utilizzato come datum nazionale cui sono riferite le altezze terrestri.

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 (AOGCM – Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Models) 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 interannuale.

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)

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 90esimo (10imo) 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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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. Nel rapporto IPCC (1992) è stato presentato un set di scenari di emissione, utilizzato come base per le proiezioni climatiche dell'IPCC (1996). Questi scenari di emissione sono citati come scenari IS92. Scenari di emissione, i cosiddetti scenari SRES, sono stati pubblicati nel Rapporto Speciale sugli Scenari di Emissione dell'IPCC (IPCC Special Report on Emission Scenarios; Nakićenović e Swart, 2000), e alcuni di essi sono stati utilizzati, tra gli altri, come base per le proiezioni climatiche presentate nei capitoli 9 - 11 del rapporto IPCC del 2001 e nei capitoli 10 e 11 del rapporto IPCC del 2007. I nuovi scenari di emissione per il cambiamento climatico, i quattro Representative Concentration Pathway, sono stati sviluppati per, ma indipendentemente da, la presente valutazione dell'IPCC.

Temperatura superficiale media globale: una stima della temperatura superficiale media globale dell'aria. Tuttavia, per variazioni nel corso del tempo, si utilizzano solo le anomalie, come le deviazioni da una climatologia, più comunemente basate sulla media globale pesata sull'area dell'anomalia di temperatura superficiale del mare, e dell'anomalia della temperatura dell'aria sulla superficie terrestre.

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).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Allegato 1: Reliability ensemble averaging

Al fine di valutare l'accuratezza dei modelli EURO-CORDEX nel riprodurre le osservazioni nel periodo di riferimento, è stato considerato l'errore medio assoluto (MAE) di ciascun modello rispetto alle osservazioni.

La Figura 18, mostra i box-plot che descrivono la distribuzione dei MAE dei modelli EURO-CORDEX nelle variabili d'interesse (precipitazione, temperatura massima e minima) a scala annuale e stagionale. Lo scopo di tale elaborazione è mostrare, in termini di MAE, la presenza di modelli che si discostano notevolmente dalla distribuzione dei modelli (*outliers*). In particolare, nella maggior parte dei casi, gli *outliers* (indicati con un '+' rosso) rappresentano modelli che presentano un errore maggiore rispetto alla media della distribuzione dei modelli.

Per tener conto del fatto che non tutti i modelli hanno le stesse performance, i risultati in termini di media (*ensemble mean*), precedentemente elencati, sono stati ottenuti utilizzando anche l'approccio fornito da Giorgi e Mearns (2002), noto come "REA" (Reliability Ensemble Averaging). Tale approccio si basa sul presupposto di dare un peso maggiore ai modelli con migliori performance sul presente nel rappresentare gli andamenti delle variabili di interesse (medi ed estremi). Dunque di seguito sono riportati anche i risultati ottenuti in termini di media pesata delle anomalie dei modelli EURO-CORDEX.

Seguendo tale approccio, per ogni modello i , viene stimato un fattore di affidabilità (peso) nel modo seguente:

$$R_i = Rb_i * Rd_i$$

dove Rb è il fattore correttivo in termini di bias del modello rispetto all'osservato mentre Rd è il fattore correttivo in termini di convergenza delle anomalie dei singoli modelli.

Qui di seguito vengono riportati i risultati ottenuti seguendo l'approccio REA, che risulta essere un criterio sperimentale di selezione dei modelli basato sulle loro performance. Si noti che in questo documento si è fatto riferimento ai diversi lavori presenti in letteratura, secondo cui bisogna considerare l'ensemble mean inteso come media non ponderata di tutti i modelli attualmente disponibili.

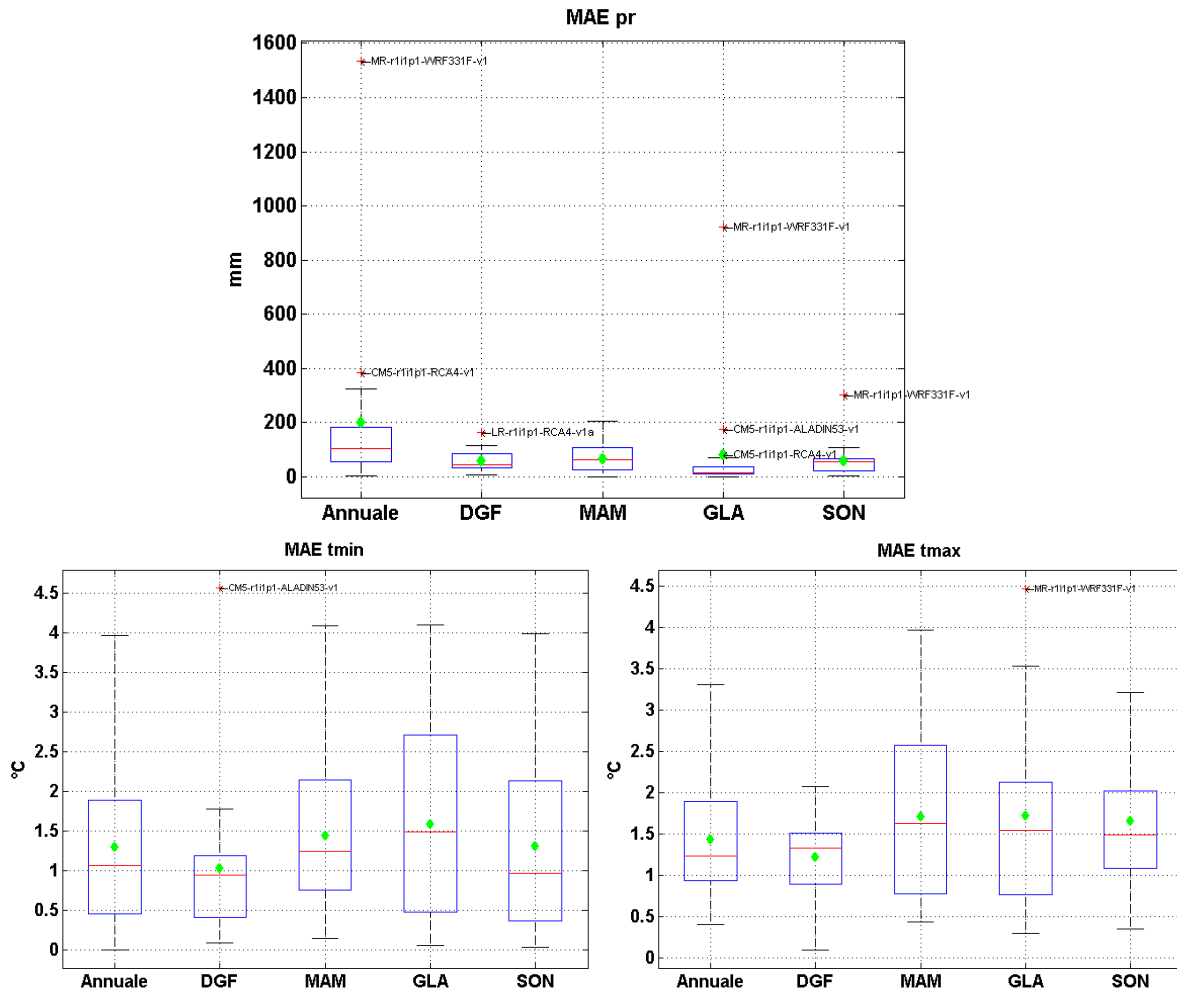


Figura 18: Box-plot degli errori medi assoluti dei modelli EURO-CORDEX nelle precipitazioni (MAE pr), temperature minime (MAE tmin) e temperature massime (MAE tmax) annue e stagionali. Il riquadro blu rappresenta l'intervallo interquartile (IQR, i bordi inferiore e superiore del box rappresentano rispettivamente il 25° e il 75° percentile) degli errori in valore assoluto (MAE) dei modelli EURO-CORDEX, mentre la linea rossa orizzontale rappresenta la mediana. I baffi rappresentano i valori entro 1.5 volte l'IQR. Gli outliers vengono tracciati individualmente utilizzando il simbolo '+' in rosso. Inoltre, il rombo verde rappresenta la media dei MAE dei modelli EURO-CORDEX.

In Tabella 7, sono riportati i valori delle anomalie (in termini di media pesata delle anomalie dei diversi modelli) annuali e stagionali di temperatura e precipitazione per i tre periodi di interesse e i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, per il box che include il comune considerato. In generale, i risultati ottenuti sono analoghi a quelli in Tabella 6, solo nel caso della precipitazione si nota, in Tabella 7, una diminuzione più intensa. Non è stato possibile riportare tali valori per la temperatura media (Tmean) in quanto non essendo disponibili i dati osservati relativi a questa variabile, l'approccio REA, non è applicabile



Tabella 7: Anomalie (in termini di media pesata delle anomalie dei diversi modelli) annuali e 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 Sassari.

	RCP4.5					RCP8.5					
	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	1	5	3	-4	7	-1	0	6	-11	3	2011-2040
Tmin (°C)	0.7	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	1.1	0.8	
Tmax (°C)	0.8	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9	0.7	0.6	1.0	0.9	
Pr (%)	-4	-1	-6	-20	1	-3	5	-9	-16	5	2041-2070
Tmin (°C)	1.4	1.2	1.1	1.8	1.4	2.0	1.8	1.6	2.5	2.2	
Tmax (°C)	1.6	1.2	1.2	2.0	1.5	2.3	1.7	1.9	2.6	2.5	
Pr (%)	-3	1	-10	-14	3	-13	-7	-20	-36	-4	2071-2100
Tmin (°C)	1.7	1.6	1.5	2.2	1.9	3.4	3.2	2.9	4.3	3.7	
Tmax (°C)	2.1	1.5	1.7	2.5	2.1	4.0	3.1	3.4	4.8	4.1	



In Figura 19, si evince che l'aumento dell'indicatore hw e la diminuzione dell'indicatore fd sono più contenuti rispetto a quanto mostrato in Figura 7. Per l'indicatore humidex5, non è stato possibile riportare l'anomalia in termini di media pesata delle anomalie dei diversi modelli, in quanto non essendo disponibili i dati osservati relativi all'umidità, l'approccio REA, non è applicabile.

In Figura 20, i risultati ottenuti sono generalmente analoghi a quelli in Figura 8, nel caso dell'indicatore r10, cwd e rr1 si evince una riduzione maggiore soprattutto a medio e lungo termine, mentre per l'indicatore cdd è evidente un aumento maggiore nel periodo a lungo termine per entrambi gli scenari.

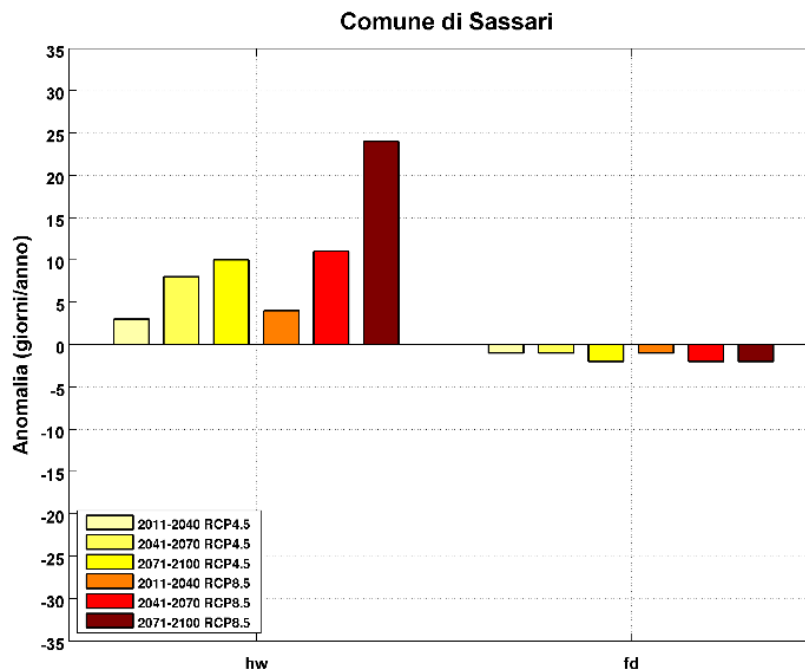


Figura 19: Anomalie degli indicatori di temperatura per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010

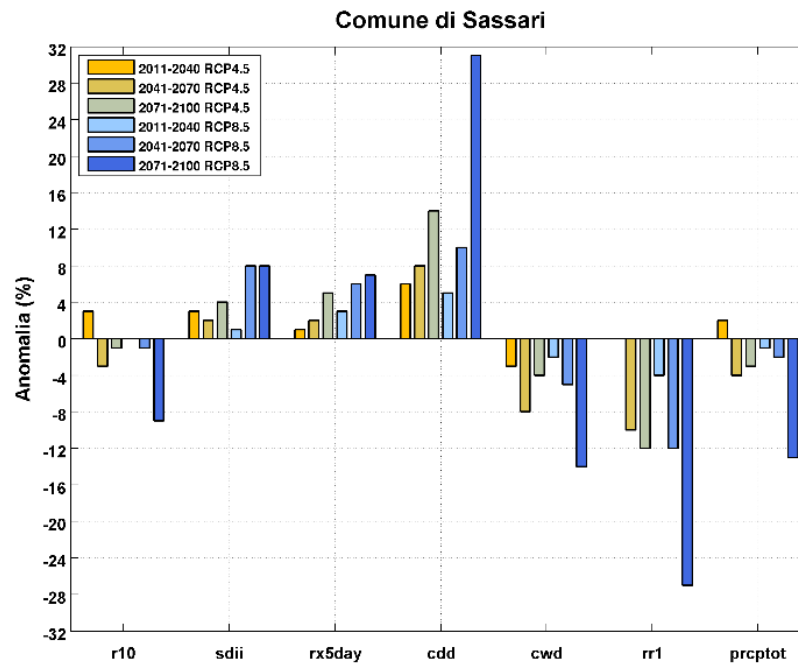


Figura 20: Anomalie degli indicatori di precipitazione per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Bibliografia

Haylock MR, Hofstra N, Tank AMGK, et al (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., J.R. Slack, and R.A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data, Water Resources Research 18(1):107-121.

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change 2007a. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K and Reisinger A.ed.]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC (2014a) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013a) Summary for Policymakers. In: Stocker TF, D. Qin, G.-K. Plattner, et al. (eds) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom) and New York (NY, USA), pp 1–30.

ISPRA, 2012. “Linee guida per l’analisi e l’elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici – Stato dell’Ambiente 32/2012.

ISPRA, 2013. “Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche” – Manuali e Linee Guida 84/13.

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. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.

Castellari S, Venturini S, Ballarin Denti A, et al (2014a) Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma

PNACC, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, 2017.

Rockel B., Will A. e Hense A. (2008). The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.*, vol. 17(4), pp. 347-348.

Van Vuuren et. al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.

WMO, 2007: The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. WCDMP-No. 61, WMO.TD No. 1377.

Giorgi F, Mearns LO, 2002, Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method, *Journal of Climate*, 15, 1141-1158.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Link a siti internet

- A. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/indicatori-climatici>
- B. http://www.climatrentino.it/clima_trentino/ct_dati_rapporti/ct_dr_reports_climatici/
- C. https://www.arpae.it/report_ambientali_full.asp?idlivello=1563&tipo_elenco=rep_ambiente&idmateria=4
- D. <https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/annuale.html>
- E. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf
- F. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml,
- G. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf
- H. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf
- I. http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf
- J. <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>
- K. <http://www.blueap.eu/site/>
- L. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima>
- M. http://www.scia.isprambiente.it/home_new.asp
- N. <https://www.arcis.it/wp/>
- O. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/csc-report13_englisch_final-mit_umschlag.pdf
- P. http://www.isprambiente.gov.it/files2017/snpa/Delibera15_indicatoriimpatticambiamenticlimatici.pdf
- Q. <https://public.wmo.int/en/bulletin/addressing-climate-information-needs-regional-level-cordex-framework>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ABBREVIAZIONI, ACRONIMI

ADAPT	ADAPTation
ADURB	Adaptation URBan
ARCIS	Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale
ARPA	Agenzia Regionale Protezione Ambiente
BLUEAP	Bologna Adaptation Plan for a resilient city
CCI	Commission for Climatology
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici
COMet	Centro Operativo per la Meteorologia
CLIVAR	CLImate VARiability
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CRA-CMA	Consiglio Ricerca Agricoltura- Climatologia Meteorologia Agricoltura
ENAV	Ente Nazionale Assistenza al Volo
E-OBS	European OBServational dataset
ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection and Indices
EURO4M	European Reanalysis Observation for Monitoring
GCM	Global Climate Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



JCOMM	Joint Technical commission for Oceanography and Marine Meteorology
MATTM	Ministero Ambiente Tutela Territorio Mare
NWIOI	North West Italy Optimal Interpolation
PNACC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
RCM	Regional Climate Model
SCIA	Sistema dati Climatici Interesse Ambientale
SNACC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
WMO	World Meteorological Organization