



Interreg



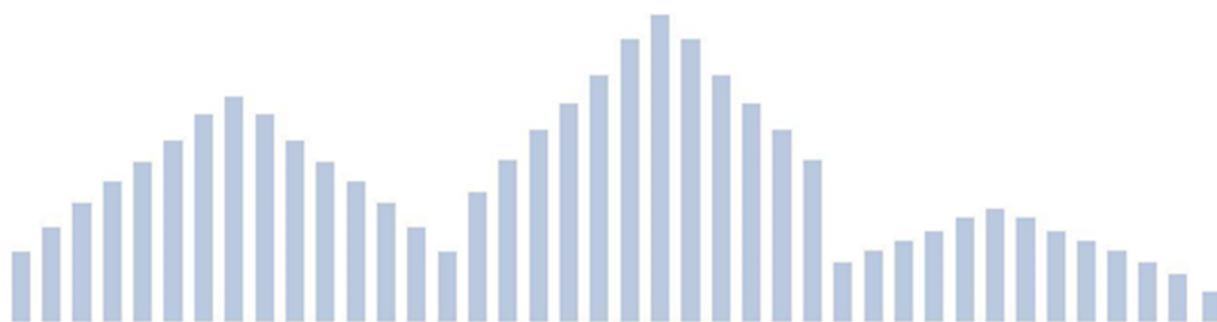
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ADAPT



Profilo climatico locale per i Comuni di Savona e Vado Ligure



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



Introduzione	3
Andamento temporale della variabilità climatica osservata	5
Scenari climatici locali disponibili	16
Conclusioni	31
Glossario	33
Bibliografia	36
Link a siti internet	38

Il documento è stato sviluppato dalla Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) e con supporto tecnico di IRE Liguria SpA.

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione

Il presente documento ha lo scopo di descrivere il profilo climatico locale dei comuni di Savona e Vado Ligure, 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 sulle 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 2001-2017 a partire dai dati orari digitalizzati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione della *Stazione di Savona – Istituto Nautico*¹, utilizzata come riferimento per i Comuni di Savona e Vado Ligure. Tale approssimazione è stata effettuata su indicazione di ARPA Liguria che ha indicato tale stazione di osservazione (stazione di Savona - Istituto Nautico) utilizzabile per effettuare un’analisi climatica di tipo locale anche sul comune di Vado Ligure. L’analisi dei dati osservati, a differenza dell’analisi delle variazioni del clima futuro (che si basano su dati simulati), è stata valutata su un periodo di riferimento più breve, di 17 anni, in quanto le osservazioni sono disponibili solo su tale periodo (inoltre si segnala la mancanza di dati per alcuni periodi dell’intervallo di osservazione disponibile)². Tale analisi descrive la variabilità temporale nel periodo di riferimento 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 delle 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. Ad ogni modo, per avere un quadro completo e dettagliato del clima della regione Liguria

¹ I dati orari della stazione di Savona – Istituto Nautico sono scaricabili al seguente link: <http://www.cartografiar.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>

² Si fa presente che effettuare un’analisi climatica su un periodo più breve potrebbe portare ad una errata valutazione del regime climatico specialmente per quanto riguarda gli eventi estremi.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



è possibile consultare l'Atlante Climatico della Liguria redatto da ARPAL-Centro funzionale meteorologico di protezione civile, disponibile al seguente link <https://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/analisi-climatologiche/atlante-climatico-della-liguria.html>

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 RCP4.5³ e RCP8.5⁴, 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 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).

³Lo 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.

⁴Lo 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



Andamento temporale della variabilità climatica osservata

Il Comuni di Savona e Vado Ligure, come riportato nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2017), risultano appartenere, sulla base dei dati E-OBS (Haylock et al. 2000), alla macroregione 1 che identifica principalmente le Prealpi e l'Appennino Settentrionale. Tale macroregione è caratterizzata da valori intermedi per quanto riguarda le precipitazioni cumulate invernali ed estive e da valori elevati, rispetto alle altre aree del territorio nazionale, degli indicatori estremi di precipitazione. Inoltre, risulta essere una zona con un numero elevato di giorni estivi (numero di giorni in cui la temperatura massima ha un valore superiore a 29.2°C).

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 Savona e Vado Ligure, l'analisi delle condizioni climatiche sull'area di interesse è stata effettuata prendendo in considerazione i dati orari di temperatura minima, massima e di precipitazione, registrati dalla stazione di Savona – *Istituto Nautico*. La posizione geografica della stazione disponibile per i Comuni di Savona e di Vado Ligure è riportata nella Figura 1.

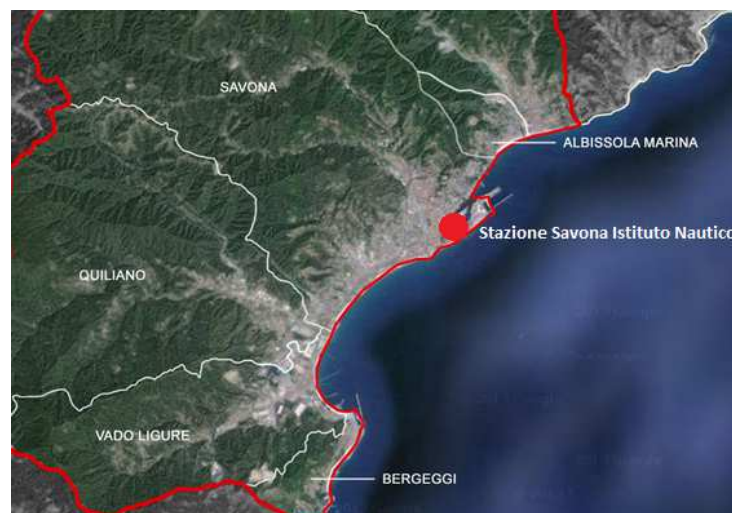


Figura 1: Posizione geografica della stazione meteo (fonte Istituto Nautico) disponibile per i Comuni di Savona e Vado Ligure.

Le serie di dati digitalizzati utilizzate, disponibili sul periodo 2001-2017, sono state sottoposte ad un controllo di qualità e omogeneità che può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

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



- ✓ **Analisi di completezza dei dati.** Per ogni risoluzione temporale, viene controllata la presenza di almeno il 75% di dati disponibili in quanto la presenza di *missing data* (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 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 Savona/Vado Ligure e per ogni variabile considerata sono stati esclusi 3 anni per le temperature (minime e massime) e 1 anno 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 di Savona - Istituto Nautico	
	Temperatura	Precipitazione
Numero massimo di anni	17	17
Numero totale di anni disponibili	14	16
Completezza	82%	94%
Anni con dati non validi	2001, 2002, 2003	2001

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/decrecita 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.

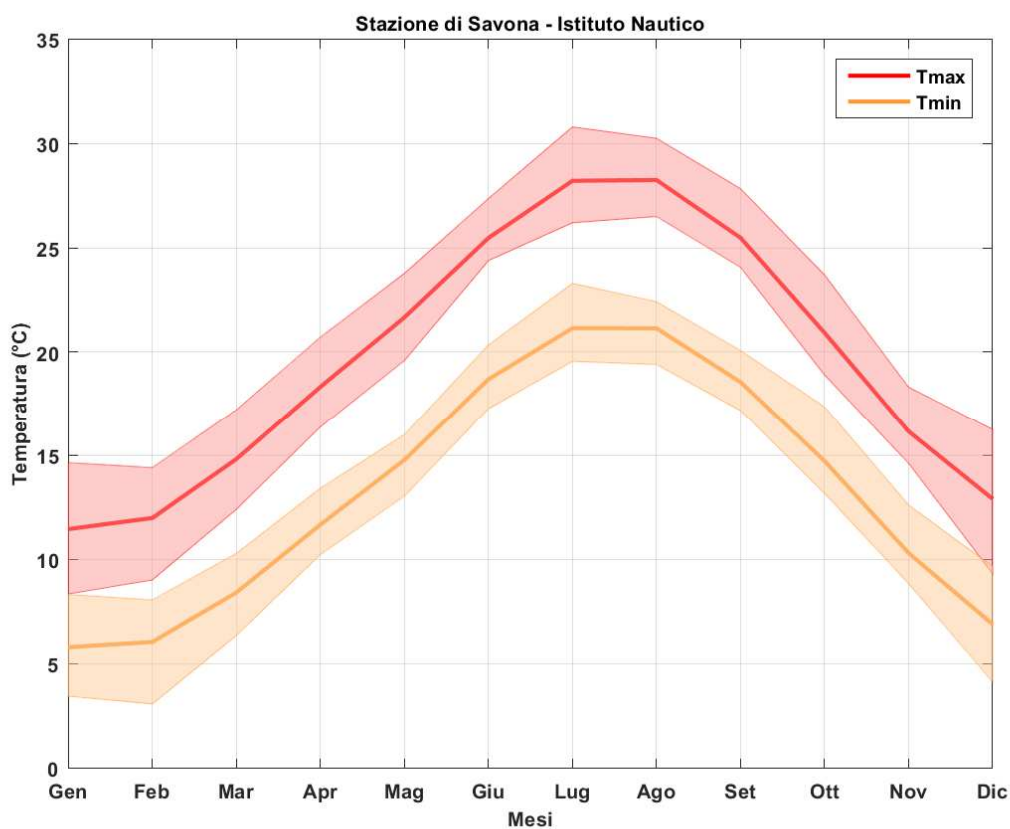


Figura 2: Ciclo stagionale di temperatura minima e massima. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile sul periodo di riferimento.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

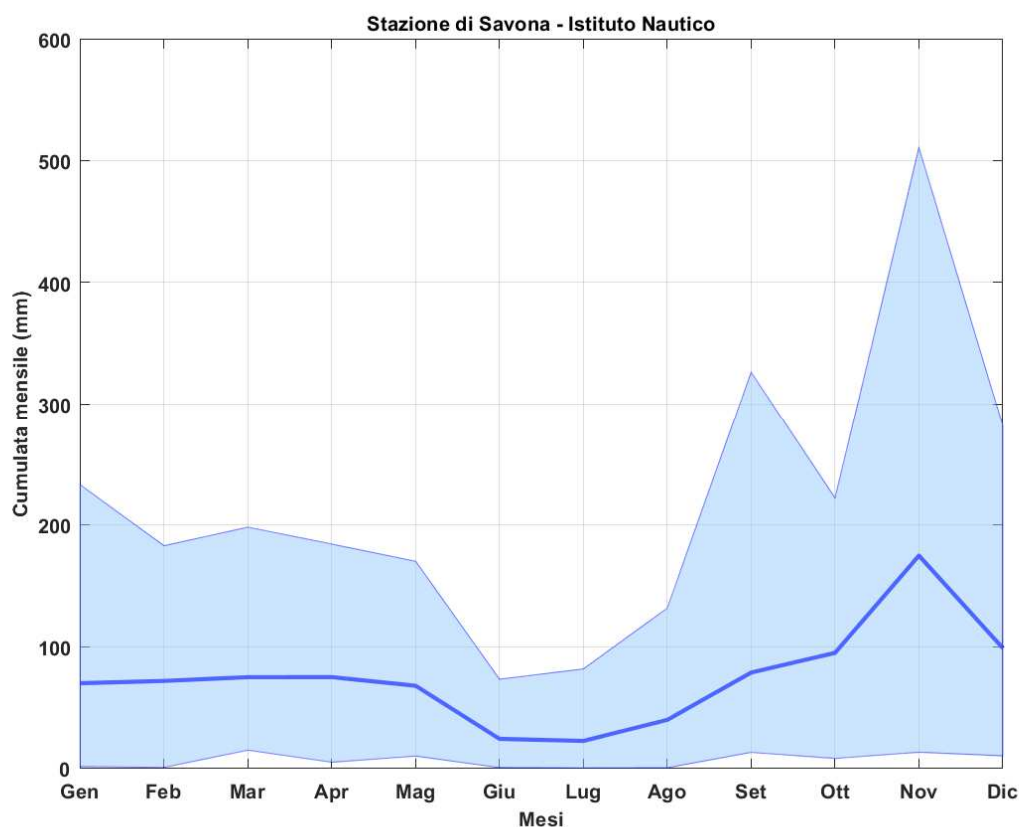


Figura 3: Ciclo stagionale di precipitazione cumulata mensile. L'area ombreggiata indica la dispersione rispetto al 5° e al 95° percentile della distribuzione mensile sul periodo di riferimento.

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 6 °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 28 °C e la Tmin di 21 °C. La primavera e l'autunno mostrano valori intermedi e comparabili. Inoltre, i mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio mostrano una maggiore dispersione in termini di temperature minime e massime (come mostrato in Figura 2).

Per quanto riguarda la precipitazione (Figura 3), i valori sono calcolati cumulando i dati orari su base mensile. Per le precipitazioni, si osserva un picco a Novembre di circa 170 millimetri/mese. I mesi autunnali (Settembre, Ottobre e Novembre) rappresentano i mesi caratterizzati dalla dispersione maggiore; in particolare per il mese di Novembre il 95° percentile è di circa 500

[La cooperazione al cuore del Mediterraneo](#)
[La coopération au cœur de la Méditerranée](#)



millimetri rispetto al valore medio di 170 millimetri mentre per il mese di Settembre il 95° percentile è di circa 310 millimetri rispetto al valore medio di 80 millimetri. I mesi primaverili (Marzo, Aprile, Maggio) sono caratterizzati da un valore medio di circa 70 millimetri/mese con un 95° percentile che raggiunge circa 200 millimetri/mese. Nei mesi di Giugno e Luglio si registrano i valori mensili più bassi intorno ai 20 millimetri/mese con il 95° percentile di circa 90 millimetri.

Inoltre in Figura 4 vengono riportate le serie temporali annuali di temperatura massima e minima. Entrambe le serie di temperatura mostrano una tendenza all'aumento, ma solo per la temperatura massima il test di Mann Kendall ha mostrato un trend significativo (a livello di significatività del 95%) sul periodo di analisi. In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è mostrato, per la temperatura minima e massima, l'andamento dell'anomalia rispetto al valore medio del periodo di analisi.

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 27 °C durante l'estate e una temperatura minima media di circa 6 °C durante l'inverno. Invece in termini di precipitazione, l'autunno risulta essere la stagione più piovosa (con 348 millimetri) mentre l'estate è caratterizzata da precipitazioni più basse, rispetto alle altre stagioni, di circa 86 millimetri.

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

	Stazione di Savona - Istituto Nautico		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PR (mm)
Inverno (DJF)	6.4	12.2	238
Primavera (MAM)	11.7	18.3	217
Estate(JJA)	20.4	27.3	86
Autunno (SON)	14.5	20.9	348
Annua	13.3	19.7	892

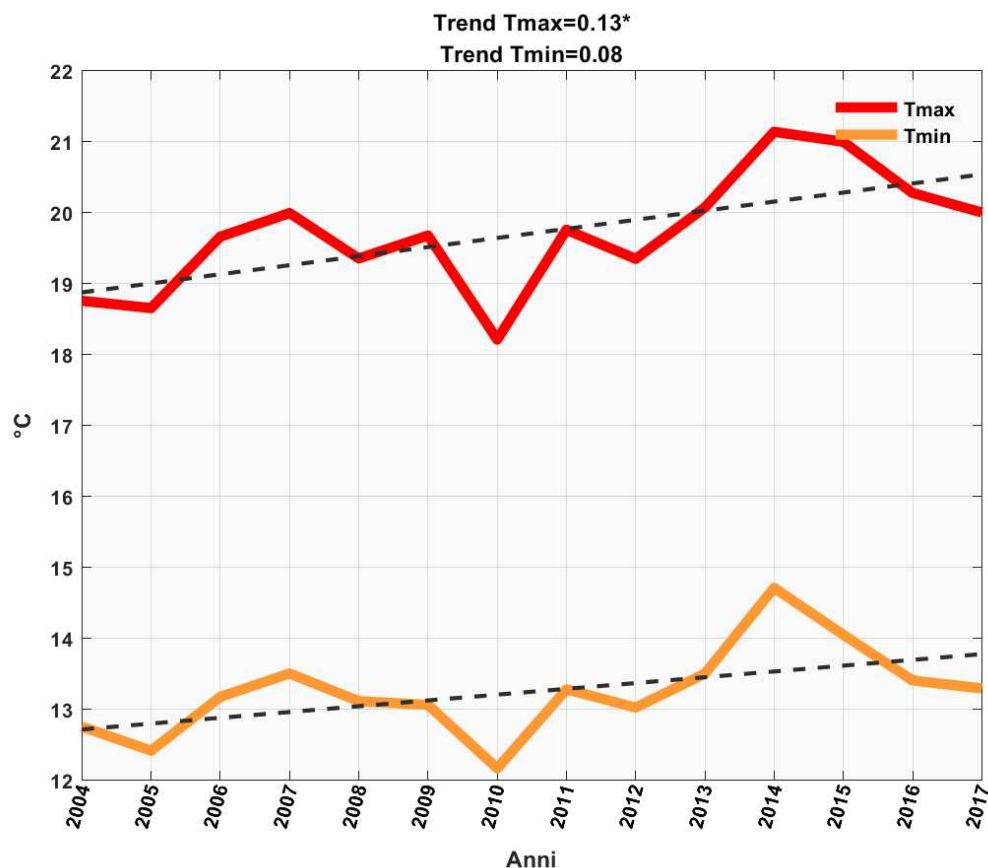


Figura 4: Serie temporale annuale della temperatura massima (Tmax) e della temperatura minima (Tmin) per la Stazione di Savona – Istituto Nautico. In nero la linea di trend (i trend che risultano statisticamente significativi sono individuati da un asterisco).

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.

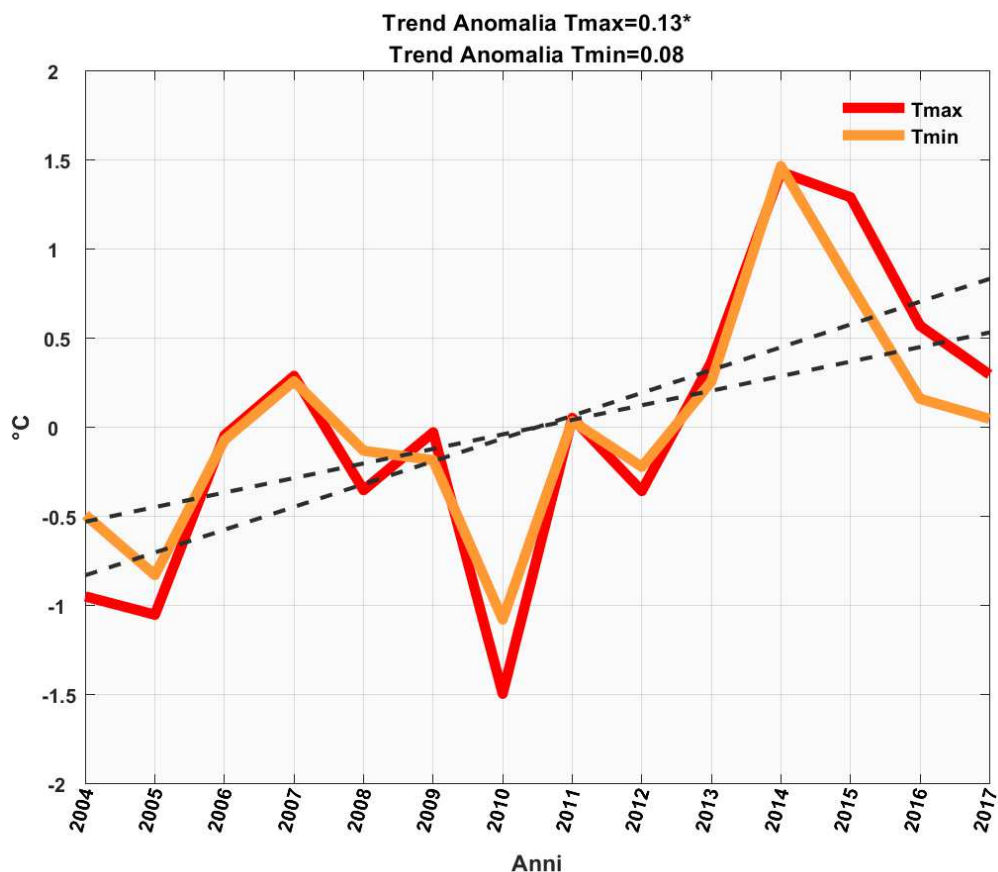


Figura 5: Andamento temporale dell’anomalia di temperatura massima (Tmax) e di temperatura minima (Tmin) rispetto al valore medio sul periodo di analisi per la Stazione di Savona – Istituto Nautico. In nero la linea di trend (i trend che risultano statisticamente significativi sono individuati da un 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 di Savona - Istituto Nautico		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pr (mm)
1° percentile	1.1	/	/
5° percentile	3.5	/	/
95° percentile	/	29.9	52
99° percentile	/	32.7	85

Per finalità similari, diversi indicatori sintetici (medi e/o estremi) sono comunemente utilizzati in letteratura per la conoscenza delle caratteristiche del clima locale e per avere evidenza



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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' ETCCDI⁵. 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 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
SU	(summer days) numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C
TR	(tropical nights) numero di giorni all'anno con temperatura minima maggiore di 20°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
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

I valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 2001-2017 vengono riportati nella Tabella 5. La stazione di Savona – Istituto Nautico è caratterizzata da un numero medio di giorni all'anno con temperatura massima maggiore di 25 °C (SU) pari a 96 mentre il numero di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera maggiore di 20 °C (TR) è pari a 61.

In termini di precipitazione, la stazione di Savona – Istituto Nautico risulta caratterizzata da circa 880 millimetri annui di pioggia (PRCPTOT), da un massimo di precipitazione su 5 giorni consecutivi (RX5DAY) relativamente alta (di circa 160 mm).

⁵Questi 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.



Confrontando i risultati ottenuti, a partire dai dati registrati dalla stazione di Savona - Istituto Nautico, con le caratteristiche climatiche della macroregione 1 presentata nel documento PNACC, per la stazione di Savona - Istituto Nautico si ottengono valori medi di temperatura più alti (la temperatura media annuale individuata nella macroregione 1 è di 13 °C mentre a Savona - Istituto Nautico si osserva una temperatura minima di 13.3 °C e una temperatura massima di 19.7 °C). In termini di precipitazione, si registrano valori comparabili con la macroregione 1 (PNACC, 2017) in termini di numero massimo medio di giorni consecutivi con precipitazione minore di 1 millimetro (CDD). Infatti per la macroregione 1 si osservano mediamente 33 giorni consecutivi all'anno in assenza di pioggia (con deviazione standard +/-6 giorni). Inoltre, per la macroregione 1 si registrano valori medi di precipitazione invernale (PR DJF) di circa 187 mm (con deviazione standard +/-61 mm), valori medi di precipitazione estiva (PR JJA) di circa 168 mm (con deviazione standard +/- 47). Dunque, la stazione di Savona - Istituto Nautico mostra dei valori più alti di precipitazione cumulata invernale e più bassi di precipitazione estiva. Inoltre si osserva che i valori medi ed estremi ottenuti a partire dai dati della stazione di Savona - Istituto Nautico sono comparabili con quelli riportati nell'Atlante Climatico della Liguria redatto da ARPAL (<https://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/analisi-climatologiche/atlante-climatico-della-liguria.html>).

Tabella 5: Valori medi degli indicatori selezionati per il periodo osservato 2001-2017.

	HW [giorni/anno]	FD [giorni/anno]	SU [giorni/anno]	TR [giorni/anno]			
Stazione di Savona - Istituto Nautico	0	2	96	61			
	R10 [giorni/anno]	PRCPTOT [mm/anno]	SDII [mm/giorno]	RX5DAY [mm/5giorni]	CDD [giorni/anno]	CWD [giorni/anno]	RR1 [giorni/anno]
Stazione di Savona - Istituto Nautico	23	881	14	161	38	5	59

In Figura 6 è riportata la serie temporale annuale dell'indicatore SU (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25 °C) mentre in Figura 7 quella dell'indicatore TR (numero di giorni all'anno con temperatura minima maggiore di 20 °C), gli unici indicatori per i quali il test di Mann Kendall abbia mostrato un trend significativo (a livello di significatività del 95%) sul periodo di riferimento 2001-2017. Per entrambi gli indicatori, si osserva un trend di crescita (trend di SU=2.23 e trend di TR=2.09).

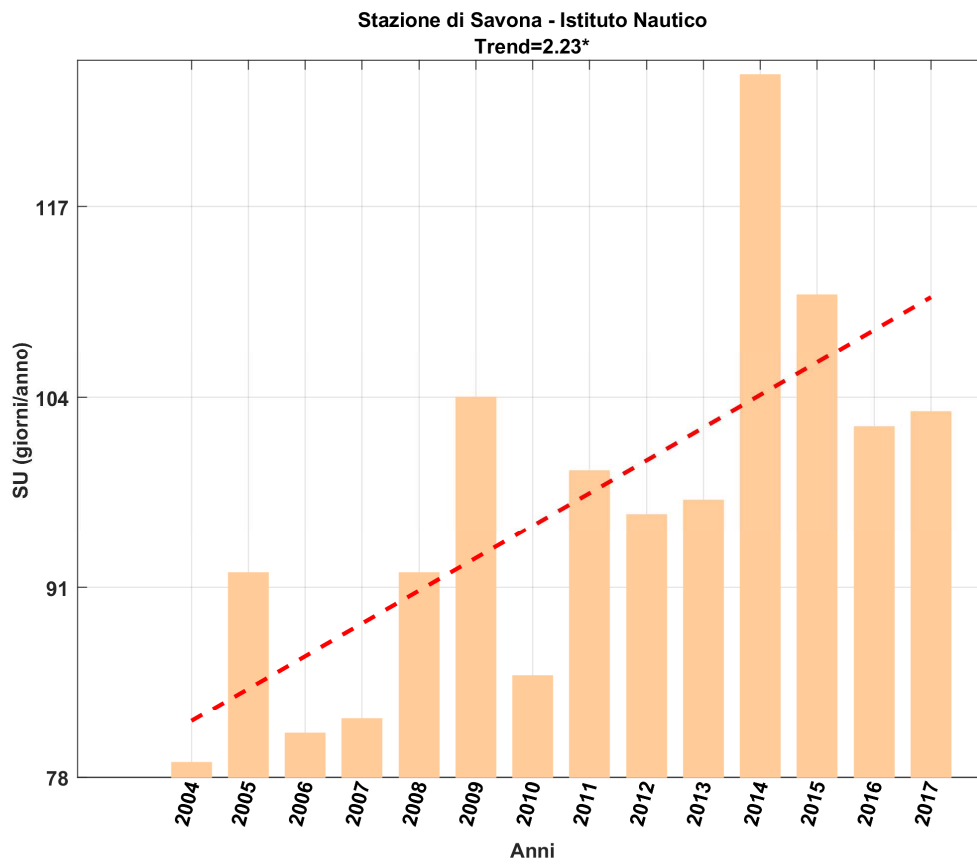


Figura 6: Serie temporale annuale dell'indicatore su per la stazione di Savona – Istituto Nautico (ARPAS). In rosso la linea di trend.

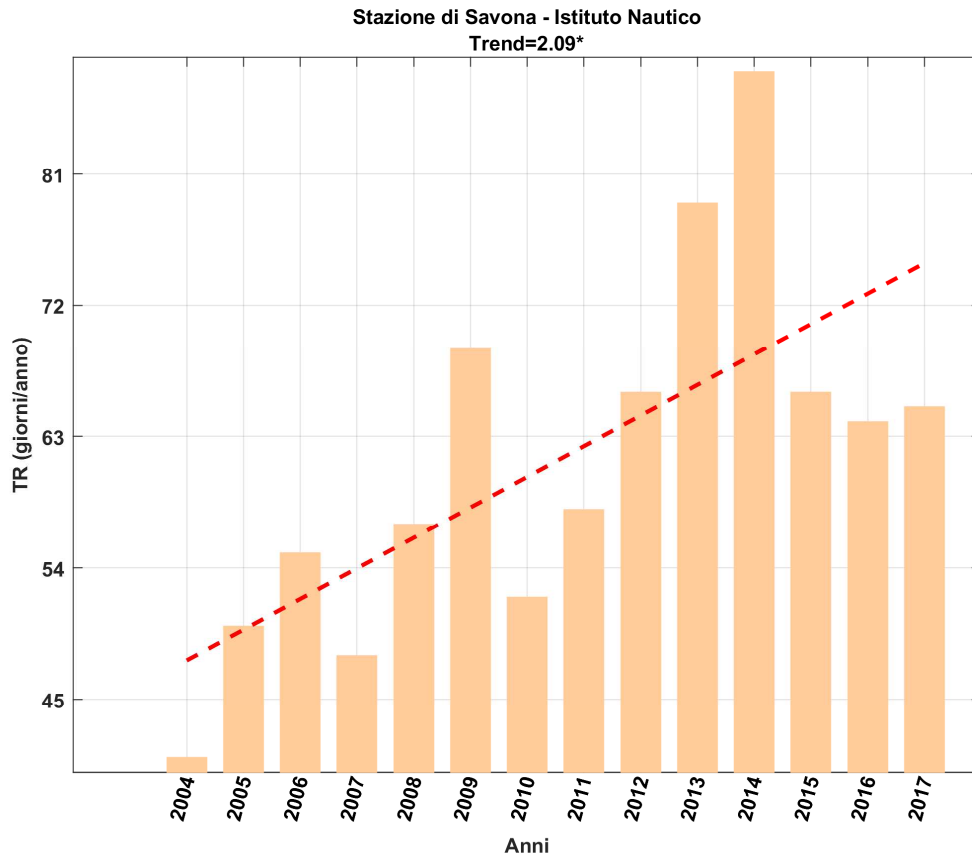


Figura 7: Serie temporale annuale dell'indicatore tr per la stazione di Savona-Istituto Nautico (ARPAS).
In rosso la linea di trend.



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 i 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 Vado Ligure. Nello specifico, per caratterizzare le anomalie climatiche attese, è stato selezionato un box costituito da 9 punti griglia

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



per i modelli di simulazione centrato sul punto di osservazione disponibile (in questo caso la stazione di Savona – Istituto Nautico).

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 sono presentati i risultati ottenuti, seguendo un approccio multi-model e multi-scenario, come riportato di seguito:

- 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 6 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. In accordo con entrambi gli scenari, da tale tabella si evince una diminuzione delle precipitazioni primaverili ed estive a medio termine (2041-2070) e lungo termine (2071-2100) maggiore se si considera lo scenario RCP8.5 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.



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 centrato sulla stazione di osservazione di Savona - Istituto Nautico

Savona-Vado Ligure (box centrato su Stazione di Savona – Istituto Nautico)*											
	RCP4.5					RCP8.5					
	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	2	7	0	1	0	2	1	6	-3	2	2011-2040
Tmin (°C)	0.8	0.8	0.5	0.9	0.8	0.9	0.9	0.7	1.0	1.0	
Tmean (°C)	0.8	0.8	0.6	0.9	0.8	0.9	0.9	0.6	1.0	1.0	
Tmax (°C)	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.9	1.0	0.6	1.0	1.0	
Pr (%)	0	9	-3	-6	-2	0	3	1	-6	1	2041-2070
Tmin (°C)	1.5	1.4	1.1	1.9	1.6	2.1	1.9	1.7	2.5	2.3	
Tmean (°C)	1.5	1.5	1.2	1.9	1.6	2.1	2.0	1.7	2.4	2.3	
Tmax (°C)	1.5	1.5	1.2	1.9	1.6	2.1	2.0	1.6	2.4	2.3	
Pr (%)	4	15	-1	-4	5	-3	7	-6	-20	-2	2071-2100
Tmin (°C)	1.9	1.9	1.5	2.2	2.1	3.8	3.5	3.0	4.5	4.1	
Tmean (°C)	2.0	1.9	1.6	2.2	2.1	3.8	3.7	3.0	4.4	4.0	
Tmax (°C)	2.0	2.0	1.6	2.2	2.1	3.8	3.7	2.9	4.6	4.0	

Inoltre, è stato analizzato l'ensemble mean delle anomalie (Figure 8-9) degli indicatori estremi di temperatura e precipitazione.

In termini di temperatura, in Figura 8, 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 8, è evidente un forte aumento del numero di giorni all'anno con temperature minime maggiori di 20 °C (TR) e con temperature massime maggiori di 25 °C (SU). Più lieve è l'aumento del numero di giorni all'anno con temperature massime maggiori di 35 °C (HW). Inoltre, i Comuni di Savona e Vado Ligure sono interessati da una riduzione del numero di giorni con temperatura minima minore di 0 °C (FD).

In termini di precipitazione, in Figura 9, 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, è attesa una diminuzione del numero di giorni con precipitazione maggiore uguale a 10 mm (R10) e della precipitazione annuale nei giorni di pioggia (PRCTOT).

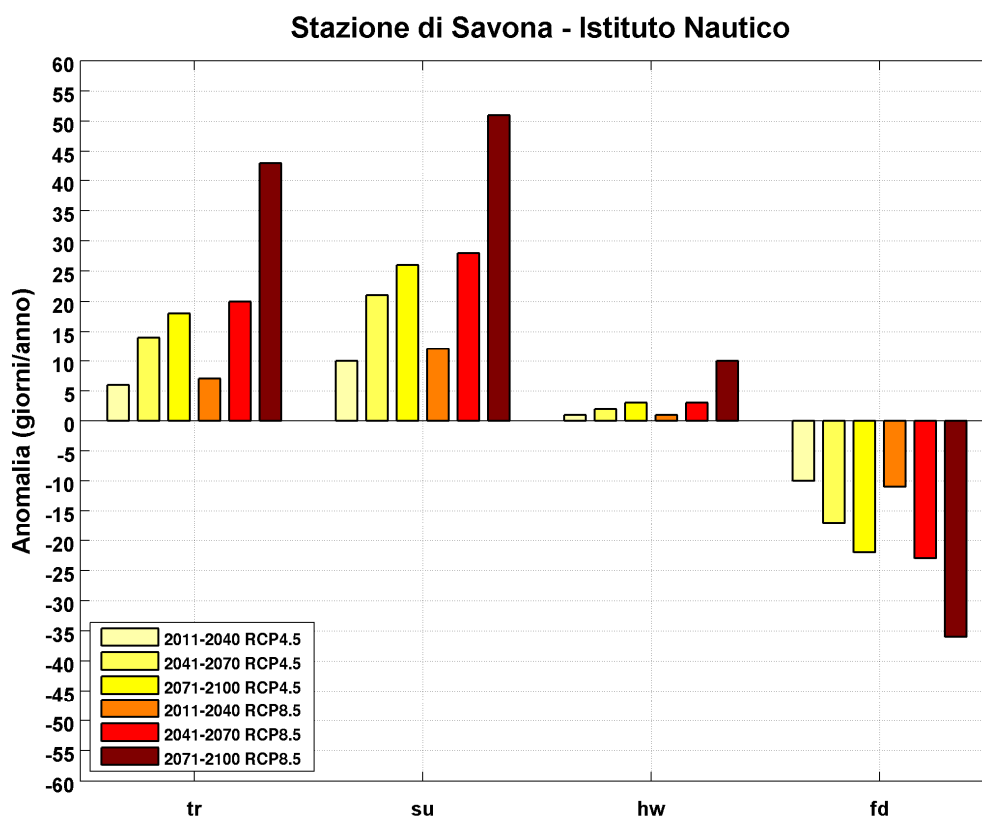


Figura 8: Anomalie degli indicatori di temperatura per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010



Stazione di Savona - Istituto Nautico

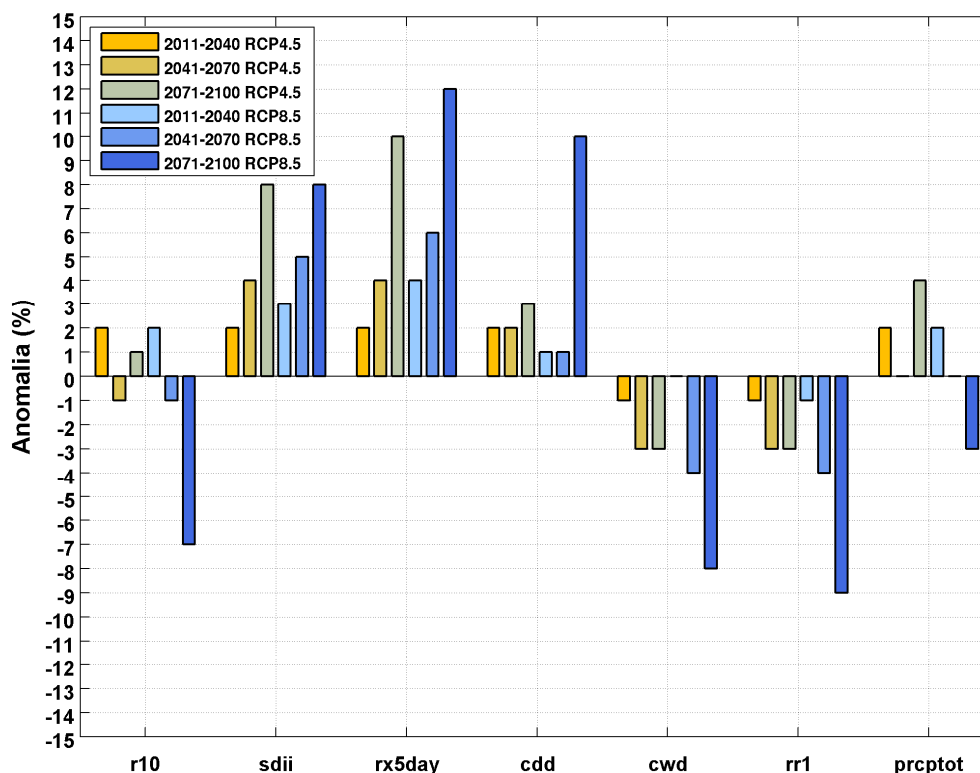


Figura 9: Anomalie degli indicatori di precipitazione per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

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 10 a 19 mostrano la serie temporale dei valori annuali degli indicatori estremi di temperatura (Figure da 10 a 13) e precipitazione (Figure da 14 a 19) 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, si evince un trend di crescita statisticamente significativo per gli indicatori TR (Figura 10), SU (Figura 11), HW (Figura 12) ed FD (Figura 13) secondo entrambi gli scenari. In particolare, in Figura 10 e in Figura 13, si evince rispettivamente un aumento del



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



numero giorni con temperatura minima maggiore di 20 °C (TR) e del numero di giorni con temperatura massima superiore a 25 °C (SU), più evidente secondo lo scenario RCP8.5. In generale, secondo entrambi gli scenari, in Figura 10 le aree ombreggiate mostrano una dispersione lievemente più ampia sul periodo a medio e lungo termine, mentre, in Figura 11, il range di incertezza mostra una variabilità contenuta. Mediamente nel *range* di incertezza cadono 12 modelli su 18 in Figura 10 e 11 modelli su 18 in Figura 11.

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

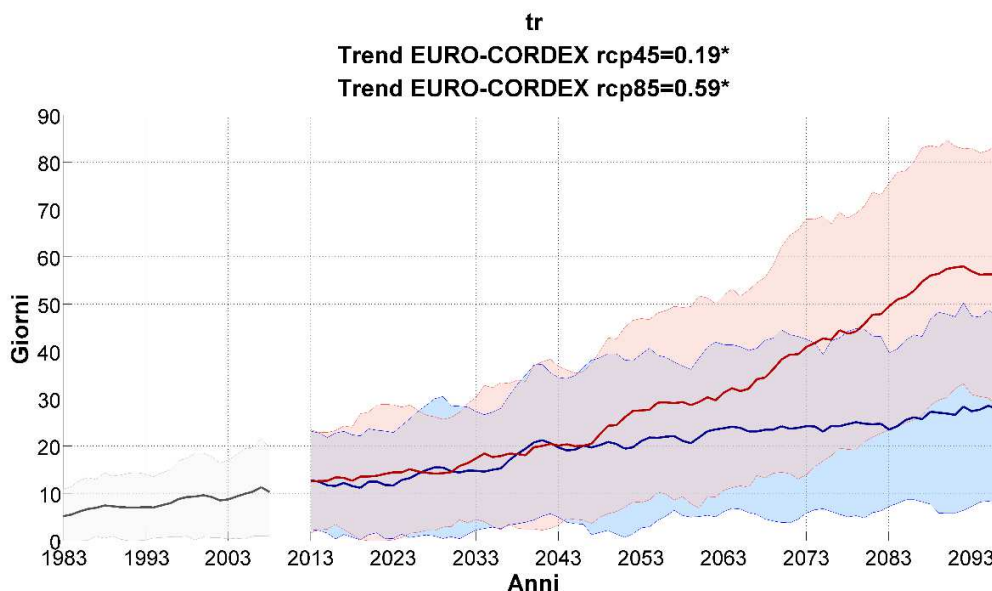


Figura 10: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore tr, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 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	12/18	12/18

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

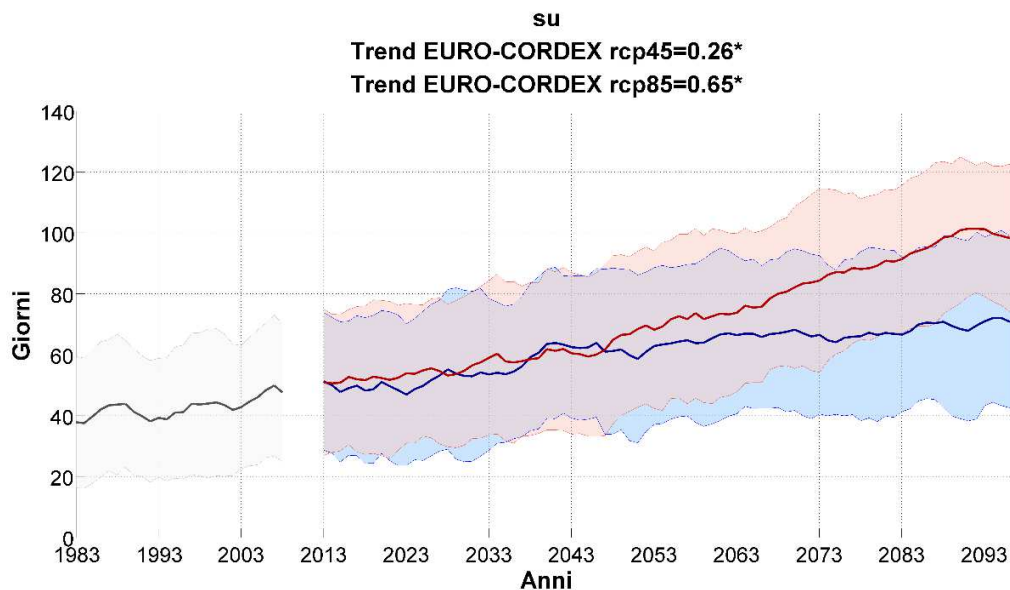


Figura 11: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore su, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni considerate; le aree ombreggiate rappresentano il 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



In Figura 12, 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.

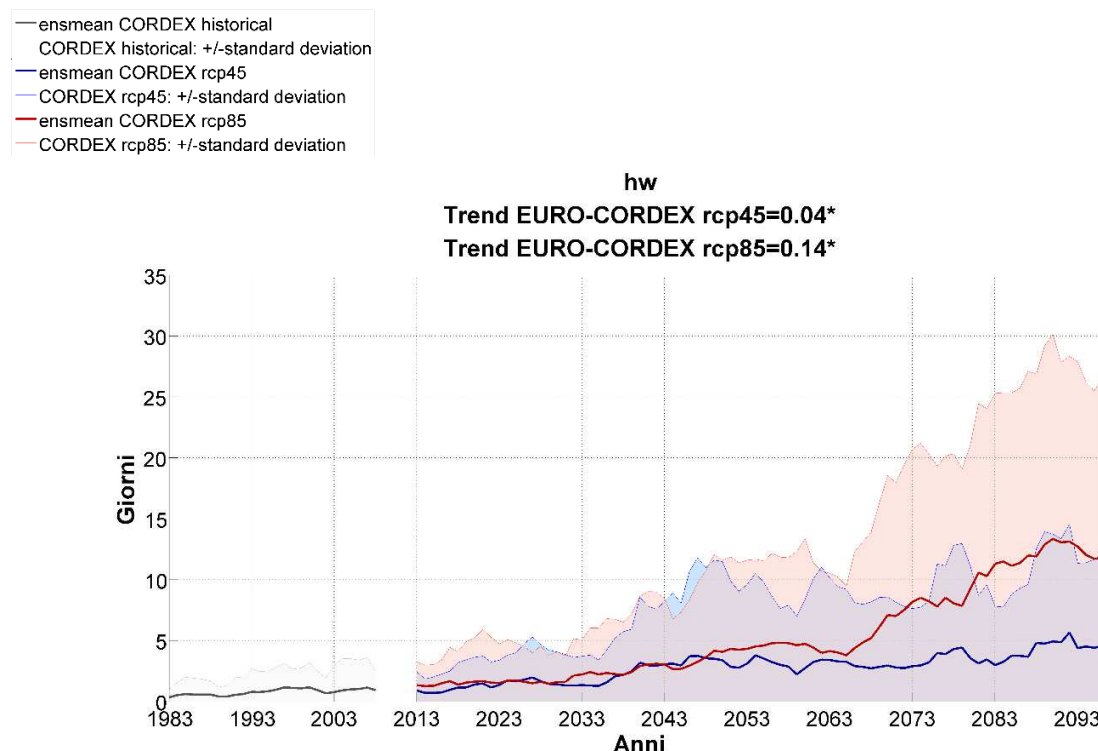


Figura 12: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore hw, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Nella Figura 13, 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.

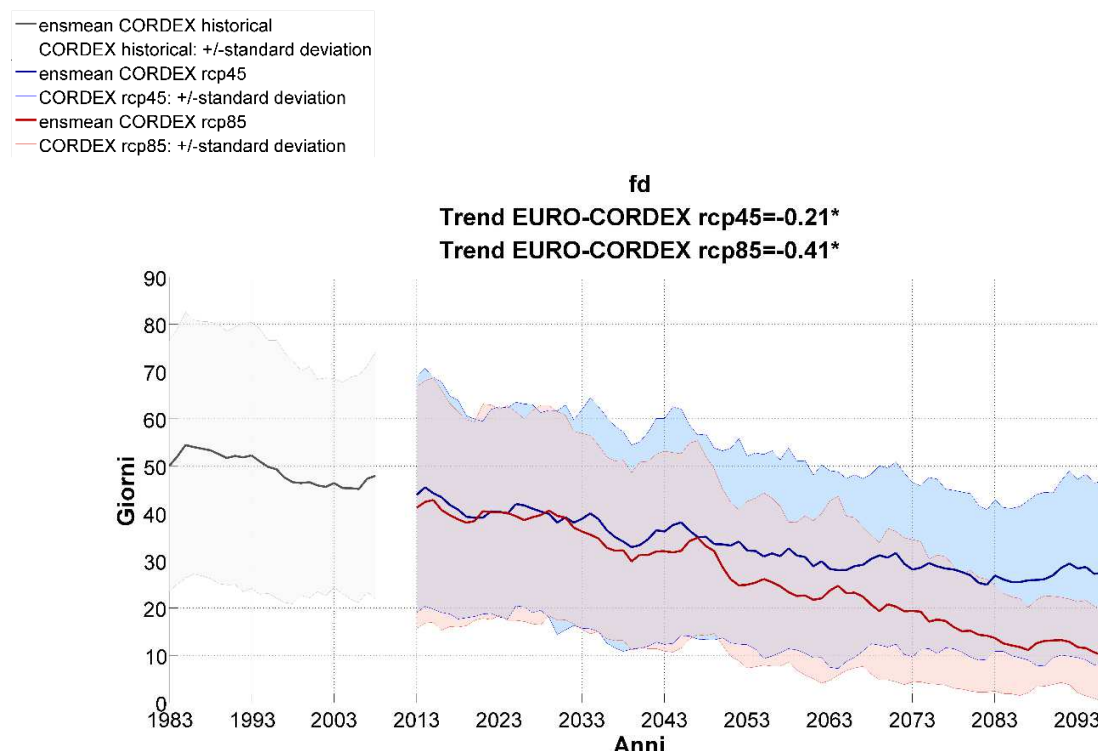


Figura 13: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore fd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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



In termini di precipitazione, si evince un trend di crescita statisticamente significativo per gli indicatori SDII (Figura 14) ed RX5DAY (Figura 15) secondo entrambi gli scenari, mentre, per l'indicatore cdd (Figura 17) solo secondo lo scenario RCP8.5. Di contro, lo scenario RCP8.5 mostra un trend di decrescita statisticamente significativo per l'indicatore CWD (Figura 16), RR1 (Figura 18) ed PRCTOT (Figura 19). In particolare, in Figura 14 e in Figura 15, si evince rispettivamente un lieve aumento dell'intensità di pioggia e dei massimi di precipitazione su 5 giorni, più evidente secondo lo scenario RCP8.5. In generale, in entrambi i casi, il *range* di incertezza mostra una variabilità contenuta secondo entrambi gli scenari, in cui cadono mediamente 16 modelli su 18.

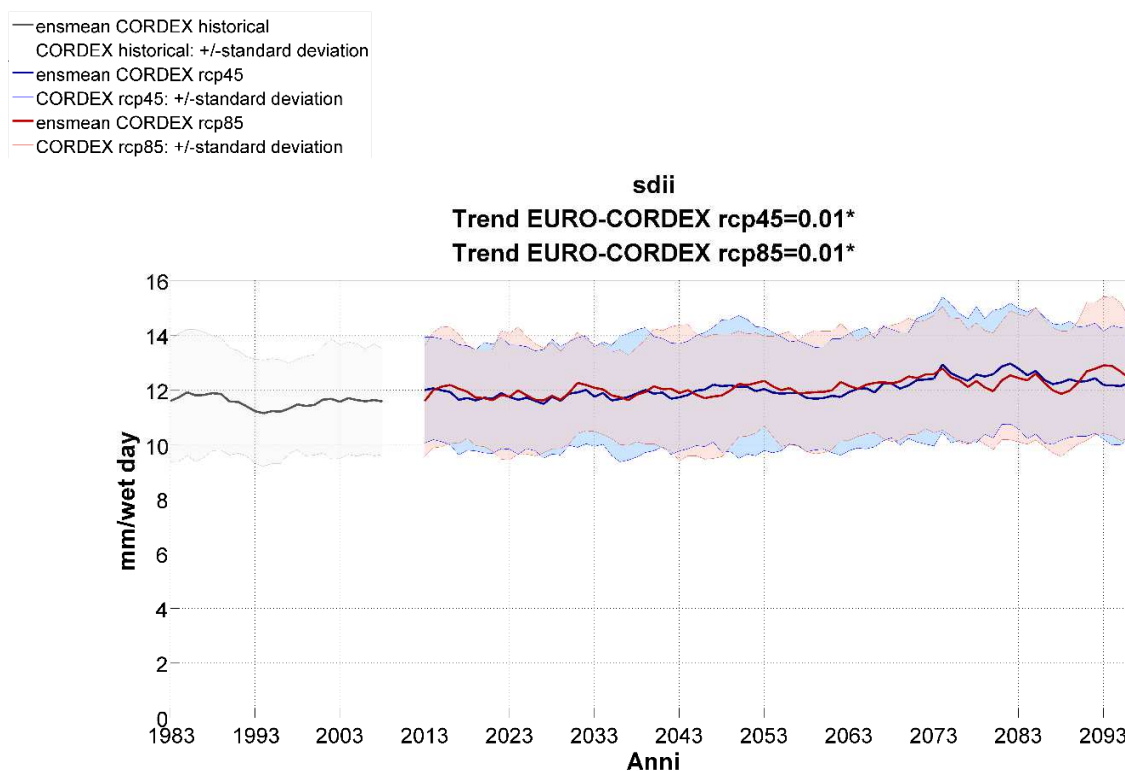


Figura 14: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore sdi, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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

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

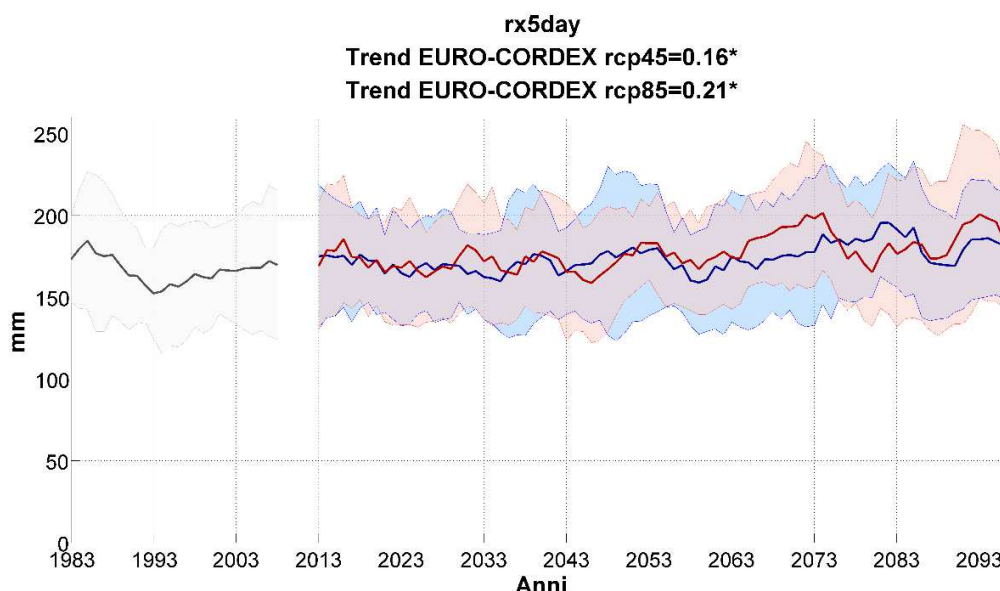


Figura 15: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore rx5day, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



In accordo con lo scenario RCP8.5, si evince una lieve diminuzione del massimo numero di giorni di pioggia consecutivi all'anno (Figura 16), di contro, è atteso un aumento del massimo numero di giorni con assenza di precipitazioni (Figura 17). Lo scenario RCP4.5, invece, presenta per gli indicatori CWD e CDD un segnale stazionario ma non statisticamente significativo. Inoltre, per lo scenario RCP8.5, in Figura 16 si ha un lieve aumento della dispersione sul periodo a medio termine mentre in Figura 17 tale aumento si rileva sul periodo a lungo termine. Il numero di modelli mediamente contenuto nel *range* di incertezza è pari a 14 su 18 per CWD e a 13 su 18 per CDD.

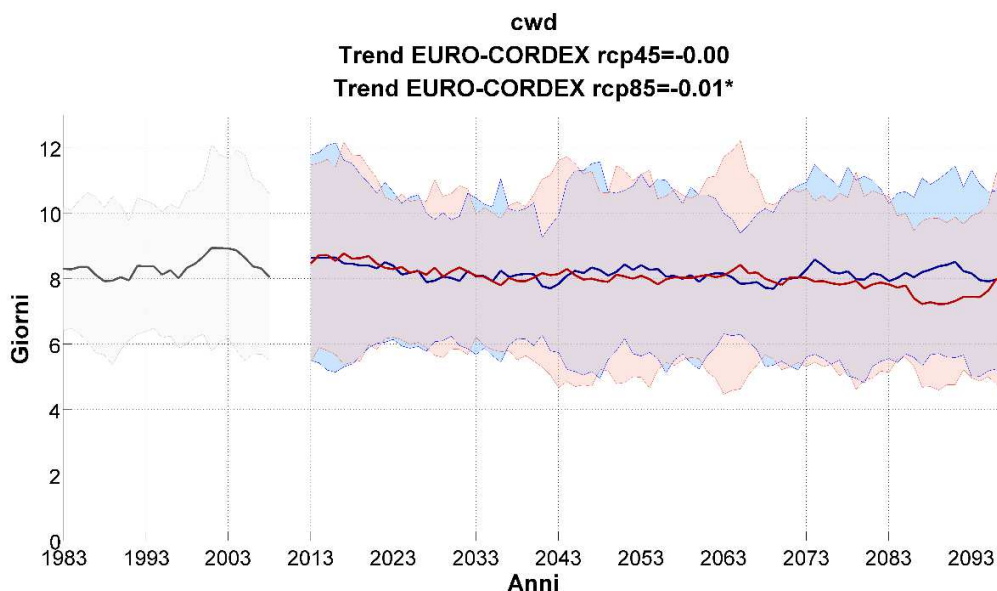


Figura 16: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore cwd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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	14/18	15/18

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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

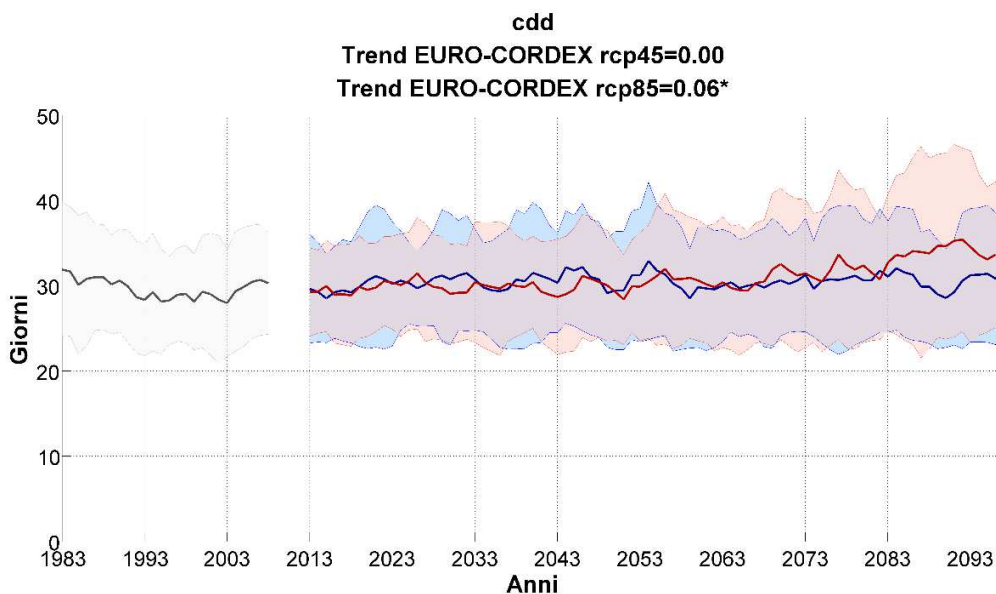


Figura 17: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore cdd, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



In Figura 18, 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.

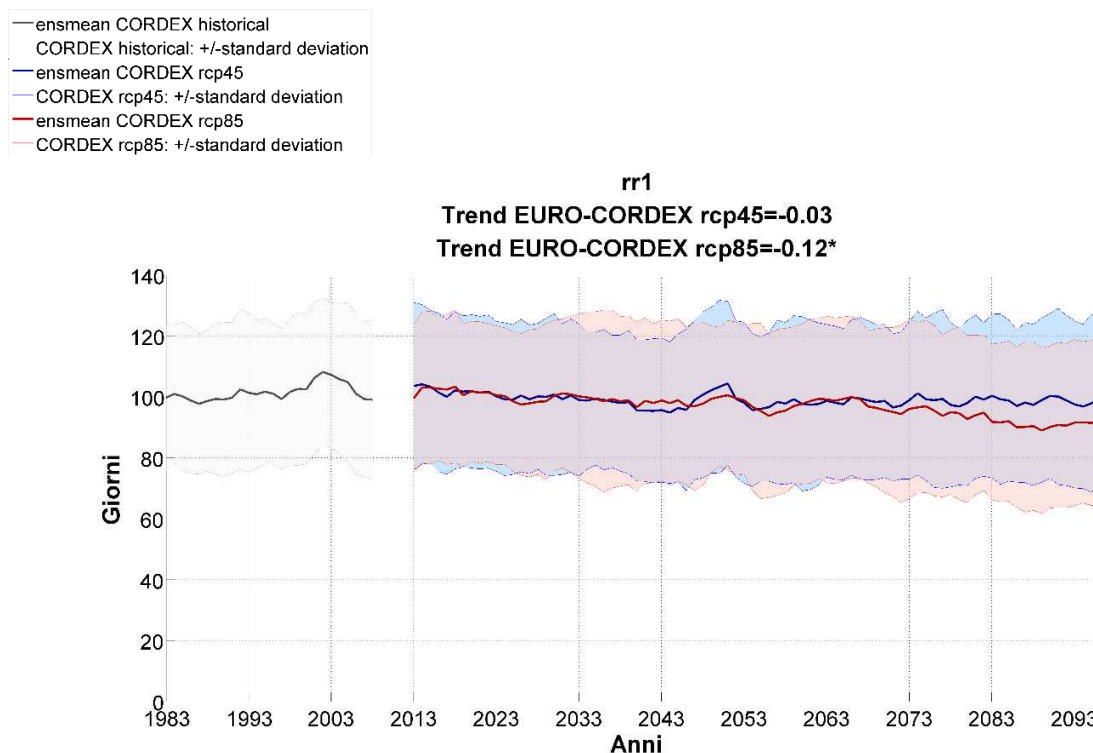


Figura 18: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore rr1, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



In Figura 19, in accordo con lo scenario RCP4.5, non si ha un trend statisticamente significativo per l'indicatore PRCTOT. Di contro, lo scenario RCP8.5 mostra un trend di decrescita statisticamente significativo. In generale, il *range* di incertezza mostra una variabilità contenuta secondo entrambi gli scenari, in cui cadono mediamente 17 modelli su 18.

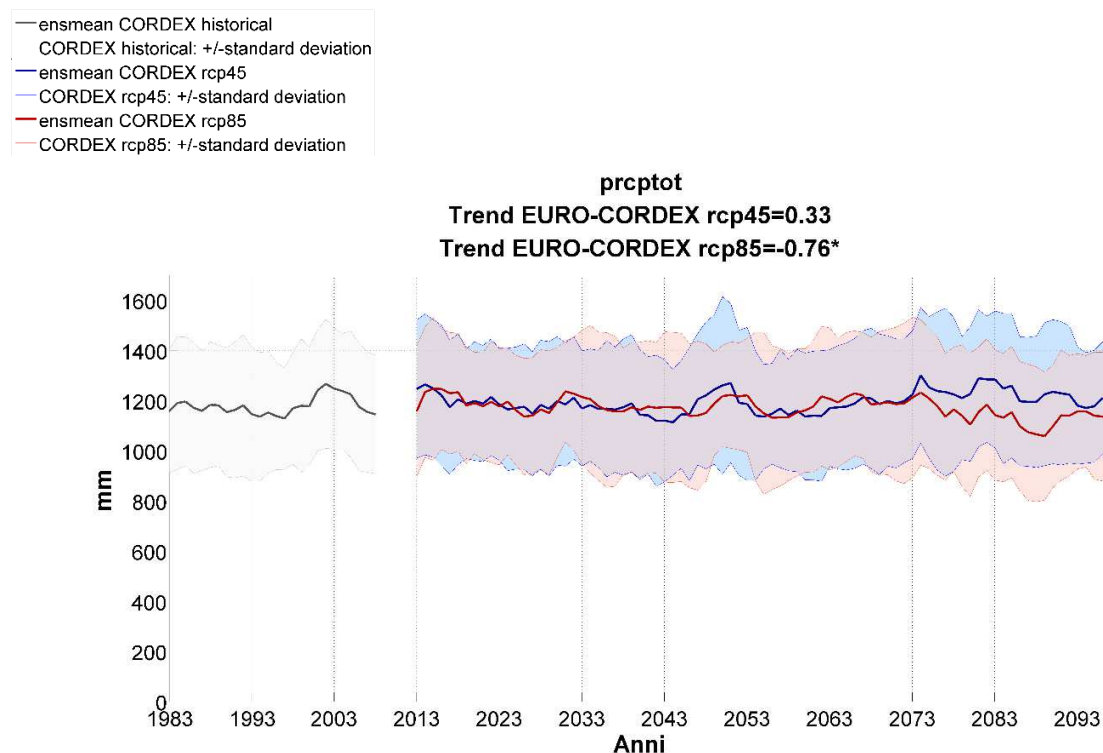


Figura 19: Proiezioni climatiche dei modelli EURO-CORDEX per l'indicatore prcptot, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP4.5 (in blu) e RCP8.5 (in rosso). La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (ensemble mean), calcolata mediando i valori di tutte le simulazioni 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 i Comuni di Savona e Vado Ligure è stata presentata sul periodo 2001-2017 a partire dai dati orari digitalizzati di temperatura (minima e massima) e di precipitazione della *stazione di Savona* - l'Istituto Nautico⁶ disponibili sul sito <http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>.

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 28 °C durante l'estate e una temperatura minima media di circa 6 °C durante l'inverno. Invece in termini di precipitazione, l'autunno risulta essere la stagione più piovosa (con 348 millimetri) mentre l'estate è caratterizzata da precipitazioni più basse, rispetto alle altre stagioni, di circa 86 millimetri.

La stazione di osservazione utilizzata indica un numero medio di giorni all'anno con temperatura massima maggiore di 25 °C (SU) pari a 96 mentre il numero di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera maggiore di 20 °C (TR) è pari a 61.

In termini di precipitazione, la stazione di osservazione risulta caratterizzata da circa 880 millimetri annui di pioggia (PRCTOT), da un massimo di precipitazione su 5 giorni consecutivi (RX5DAY) relativamente alto (di circa 160 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 alla risoluzione di circa 12 km 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). Tali analisi sono state effettuate su di un'area centrata sulla stazione di osservazione di Savona - Istituto Nautico che copre anche l'area di Vado Ligure.

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 minime maggiori di 20 °C (TR) e con

⁶ Tale approssimazione è stata effettuata su indicazione di ARPA Liguria che ha indicato la stazione di osservazione (stazione di Savona- Istituto Nautico) come utilizzabile per effettuare un'analisi climatica di tipo locale sul comune di Vado Ligure.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



temperature massime maggiori di 25 °C (SU). Inoltre, tale area è interessata 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 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 uguale a 10 mm (R10) e della precipitazione annuale nei giorni di pioggia (PRCTOT). Il profilo climatico locale dei Comuni di Savona e Vado Ligure, 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.



Glossario⁷

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

⁷ Glossario estratto da Caciagli L. Glossario minimo dell'IPCC http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf



Interreg
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

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).

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.

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_ambientale&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_indicatoriimpatticambiamenticalimatici.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