



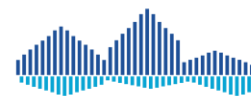
# Interreg



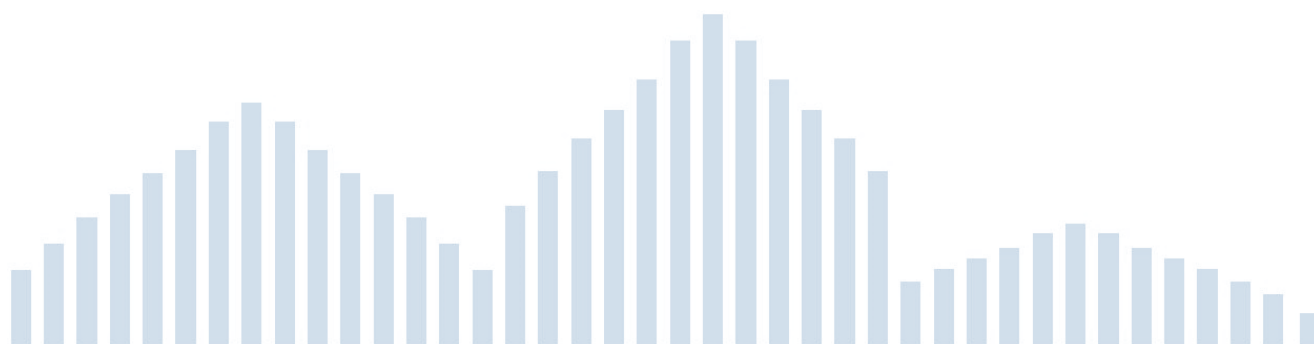
UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## ADAPT



# ADAPT

## PROFILO CLIMATICO LOCALE

### COMUNE DI LIVORNO



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



**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

## 1. Introduzione

### 1.1 Il cambiamento climatico

Con il termine cambiamento climatico si fa riferimento ad una variazione statisticamente significativa nel valor medio di lungo periodo di uno o più parametri meteorologici (temperatura, precipitazione, nuvolosità, temperature del mare ecc.) a diverse scale spaziali (regionale, continentale, emisferica e globale)

Statisticamente per valutare tali dinamiche viene preso in considerazione un periodo di almeno 30 anni. I cambiamenti climatici sono un evento largamente presente nella storia del pianeta Terra, causati da diverse forzanti quali variazioni nell'attività solare, nella composizione atmosferica, nella disposizione dei continenti, nelle correnti oceaniche o nell'orbita terrestre. Tutte queste infatti, possono modificare la distribuzione dell'energia e il bilancio radioattivo terrestre, alterando così il clima. Tuttavia, mentre alcune di queste forzanti hanno un'azione sistematica sul clima (ad esempio l'attività solare), altre come l'influenza antropica risultano essere caotiche e temporalmente imprevedibili, in quanto l'immissione di gas serra quali anidride carbonica, ossidi di azoto, metano etc. contribuisce ad alterare la composizione chimica atmosferica e conseguentemente il bilancio radiativo terrestre, causando un cambiamento delle dinamiche climatiche molto più rapido rispetto a quello causato dalle forzanti esclusivamente naturali. Il cambiamento del bilancio radiativo terrestre in tempi brevi impedisce l'adattamento dei diversi ecosistemi, e causa problematiche di feedback atmosferico che contemporaneamente tendono ad amplificare ulteriormente il cambiamento climatico. Ad oggi nel Mediterraneo l'effetto più evidente del cambiamento climatico risulta essere un rapido aumento della temperatura rispetto al recente passato, più marcato nella stagione estiva. In particolare negli



**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

ultimi anni si sono verificate durante l'estate ondate di calore particolarmente intense e durature, la stagione invernale è invece quella nella quale la temperatura è cambiata meno, soprattutto nelle località di pianura.

### *1.2 Il clima della regione Toscana e delle aree costiere*

Il clima della Toscana varia notevolmente all'interno delle diverse province e in varie aree principalmente a causa di diverse variabili quali la presenza del mare, che bagna la regione a ovest, le zone collinari centrali e la dorsale appenninica delimitante il territorio a nord ed a est. Le zone marine o prossime al mare con clima più mite sono le isole dell'Arcipelago Toscano mentre le aree più fredde sono quelle a ridosso delle Alpi Apuane. La fascia costiera presenta un clima tipicamente mediterraneo, con temperature medie annue che si attestano intorno ai 15-16 °C e sui 16-16.5°C nelle zone più a sud della regione (es. Maremma Toscana). Il mese più freddo e più caldo sono rispettivamente gennaio e luglio.

Sulle aree costiere, per quanto riguarda gennaio, le temperature medie sono intorno a 9°C, con temperature minime quasi sempre al di sopra di 0 °C e valori superiori concentrati in particolare al sud della regione e nelle isole. Le medie di luglio si attestano tra 24 e 25 °C, con massime che generalmente non superano i 35°C, ad eccezione di annate particolarmente calde, e con escursioni termiche sia annue che giornaliere non particolarmente elevate. Con riferimento alla documentazione redatta dall'ISPRA relativamente agli indicatori del clima per l'anno 2017 (ISPRA, 2017) la Toscana è stata interessata da ondate di calore nel periodo estivo. In particolare, le tre maggiori ondate di calore si sono susseguite nella prima decade di giugno luglio ed agosto, con valori medi regionali della temperatura media di quasi 4 °C al di sopra della media di riferimento 1981-2010. Relativamente alla ondata di calore di inizio agosto 2017, per quanto riguarda le temperature massime e per durata



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



(31 luglio - 9 agosto), questa è stata probabilmente la seconda più intensa in Toscana dopo quella del luglio 1983.

## **2. Analisi climatica: periodo attuale**

### *2.1 Il clima di Livorno*

Con riferimento al contesto climatico individuato dal Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2017), la città di Livorno rientra nella macroregione 2, ovvero quella identificata dalla pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centromeridionale. La macroregione 2 è *“caratterizzata dal maggior numero, rispetto a tutte le altre zone, di giorni, in media, al di sopra della soglia selezionata per classificare i summer days (29,2°C) e al contempo da temperature medie elevate; anche il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia risulta essere elevato (CDD) in confronto alle altre zone dell'Italia centro settentrionale; il regime pluviometrico, in termini di valori stagionali (WP ed SP) ed estremi (R20 e R95p) mostra invece caratteristiche intermedie”* (Figura 1). Il clima della città di Livorno è un clima di tipo Mediterraneo, caratterizzato da estati calde mitigate dalla presenza di brezza marina, ed inverni non particolarmente freddi grazie all'azione mitigante del mare, con precipitazioni che sono concentrate principalmente in autunno e inverno.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

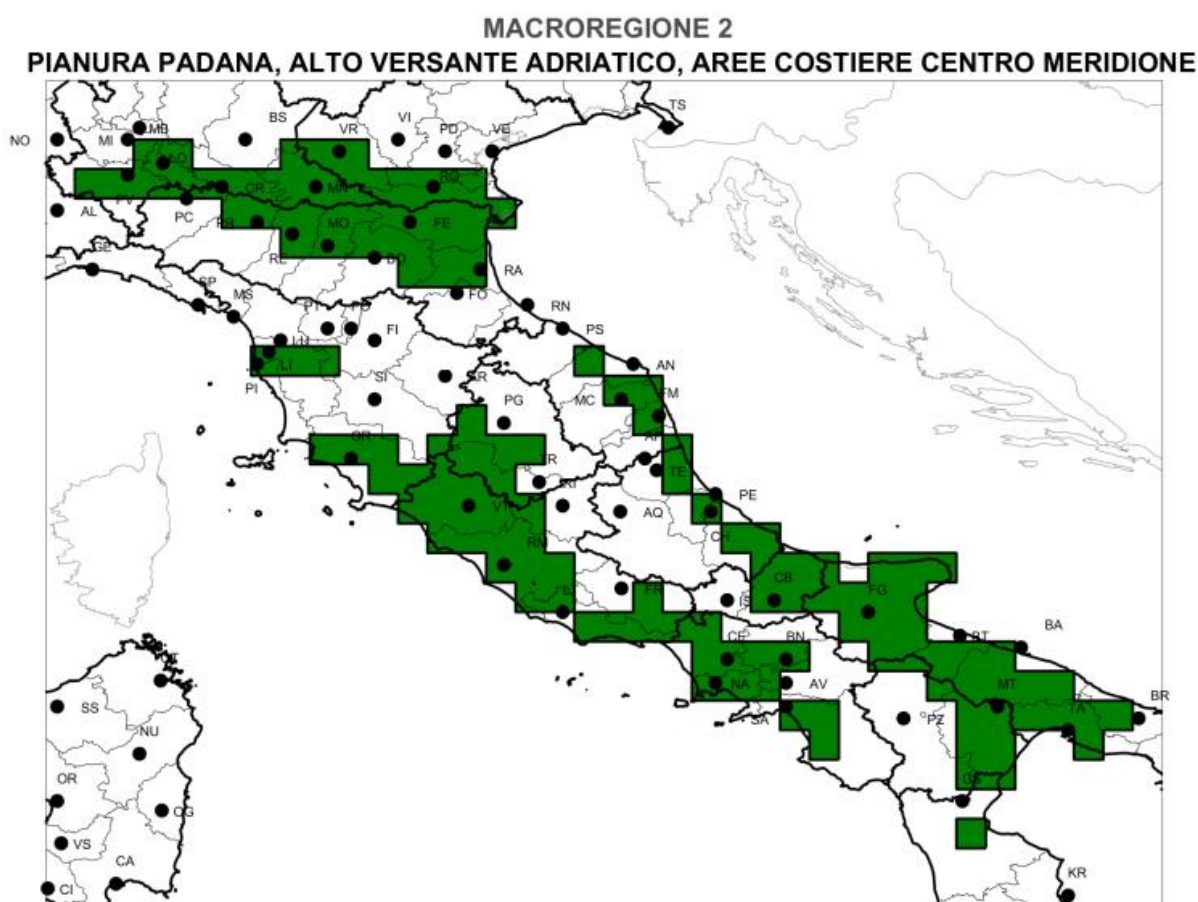


Figura 1 - Aree che rientrano nella macroregione 2 identificata dal piano nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici. Fonte: PNACC, 2017.

### 2.2 Variabilità climatica attuale

Poiché le macroregioni climatiche definite all'interno della PNACC spesso non sono in grado di rappresentare bene il clima a livello locale in quanto utilizzano un numero limitato di stazioni meteorologiche, per definire il profilo climatico specifico della città di Livorno è stato necessario

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



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



raccogliere dati meteorologici di lungo periodo che, mediante appropriate analisi statistiche, hanno permesso di valutare la variabilità climatica attuale. Al fine di ottenere un'analisi più approfondita delle variazioni climatiche che hanno interessato la città di Livorno nelle ultime decadi sono stati utilizzati sia dataset in situ (per la città di Livorno) che dataset grigliati, ossia dati meteorologici giornalieri interpolati con una risoluzione spaziale di 25 km<sup>2</sup> prodotti dal JRS Monitoring Agricultural Resources (MARS).

Il dataset dei dati in situ è relativo alla stazione di proprietà del SIR (Servizio Idrologico Regionale, [http://www.sir.toscana.it/archivio/pop\\_up.php?IDST=pluvio&IDS=TOS10001960](http://www.sir.toscana.it/archivio/pop_up.php?IDST=pluvio&IDS=TOS10001960)). Il dataset è comprensivo di dati relativi al periodo 1955-2000. Per i dati successivi al 2000 la stazione originaria è stata ricostruita secondo opportune tecniche statistiche attraverso la stazione meteorologica dell'ex CIBIC, Livorno rete mareografica ISPRA Livorno Mareografo. Tale dataset è stato utilizzato per valutare la climatologia di lungo periodo per il comune di Livorno. Sono stati analizzati andamenti medi di temperatura e pioggia, nonché alcuni estremi come suggerito dal gruppo di esperti sul rilevamento e gli indici di cambiamento climatico (ETCCDI), che ha definito un set di indicatori sintetici, principalmente basati su valori di temperatura e precipitazione. I valori estremi analizzati sono stati: i) SU (summer days), numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C; ii) TR/TN (tropical nights), numero di giorni all'anno con temperatura minima maggiore di 20°C; iii) FD (frost days), il numero di giorni di gelo definiti come il numero di giorni all'anno con temperatura minima giornaliera inferiore a 0 °C; iv) R10, numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm; v) R20, numero di giorni all'anno con precipitazione maggiore o uguale a 20 mm.

Il dataset grigliato è stato utilizzato al fine di individuare una climatologia di lungo termine per l'area della provincia di Livorno in quanto occupante una superficie più ampia su cui effettuare delle analisi statistiche che possano essere considerate rappresentative del clima dell'intero comune. Il dataset grigliato ha permesso di ottenere dati caratterizzati da continuità e completezza della serie storica,

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



assenza di outliers, ed omogeneità della serie stessa, nonché attendibilità di dati sino agli anni più recenti (2017). Tale dataset ha permesso pertanto, oltre all'analisi della variabilità di valori medi ed estremi, anche due ulteriori e distinte azioni: a) Analisi dell'andamento climatico per il periodo 1975-2017. Questa, inquadrando le condizioni medie su un periodo molto lungo, permette di capire quali sono state e quali attualmente rimangono le condizioni climatiche medie sulla città; b) Analisi dell'andamento climatico per i periodi 1975-1999 e 2000-2017. Tale analisi, inquadrando le condizioni medie su due periodi lunghi ma distinti, permette di evidenziare le differenze climatiche causate dai cambiamenti climatici nelle ultime decadi. In particolare l'analisi si è concentrata sulle variazioni nel periodo tra i due sottoperiodi al fine di evidenziare le variazioni di temperatura e precipitazione, sia nel valor medio che negli estremi, osservate negli ultimi decenni, come indicato anche dai rapporti IPCC.

## *2.3 Dataset dei dati in situ*

### *2.3.1. Andamento climatico per il periodo 1955-2010.*

L'analisi dei trend annuali di temperatura e precipitazione per la città di Livorno evidenzia un incremento sia delle temperature massime che delle minime per le decadi più recenti (linea nera continua) rispetto al periodo precedente (linea tratteggiata). Tale incremento è ben visibile e marcato per le temperature, mentre non emerge un chiaro pattern per quanto riguarda le precipitazioni.



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

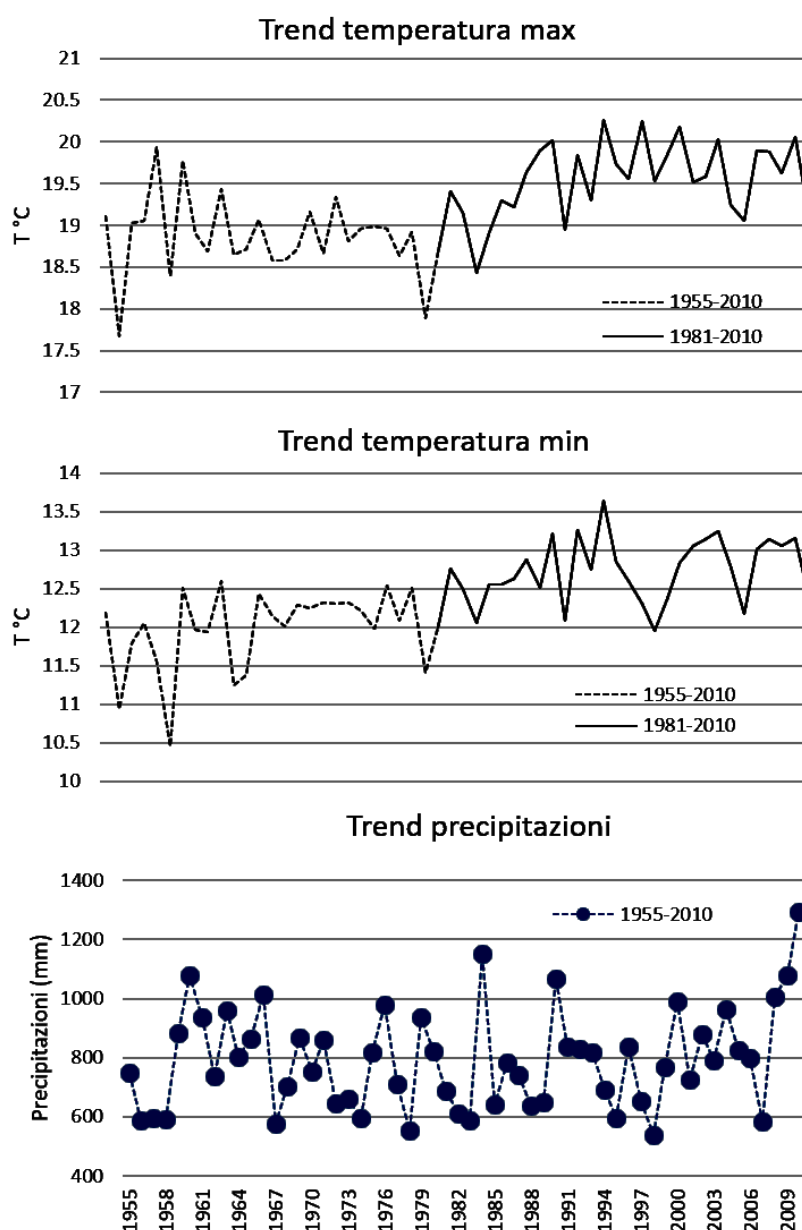


Figura 2 - Evoluzione dei pattern delle medie annuali di temperatura massima e minima e delle precipitazioni





**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

totali cumulate per la città di Livorno per il periodo 1955-2010 e 1981-2010. Misure ottenute in situ da dati stazione del SIR.

Per ottenere una comprensione maggiore dell'evoluzione climatica nel comune di Livorno sono state evidenziate le differenze dei trend annuali di temperatura (medie annuali delle massime e delle minime) e precipitazione (cumulato annuale) per i periodi 1955-1980 e 1981-2010. Considerando che entrambi i periodi coprono ognuno circa i 30 anni richiesti per caratterizzare le dinamiche climatiche, l'analisi delle differenze tra gli stessi ha fornito indicazioni circa l'evoluzione delle due variabili meteorologiche (Tab. 1).

|                            |            | P1 (1955-1980) |           |         | P2 (1981-2010) |           |         | $\Delta$ (P2-P1) |           |         |
|----------------------------|------------|----------------|-----------|---------|----------------|-----------|---------|------------------|-----------|---------|
|                            |            | Tmax (°C)      | Tmin (°C) | PP (mm) | Tmax (°C)      | Tmin (°C) | PP (mm) | Tmax (°C)        | Tmin (°C) | PP (mm) |
| Anno                       | Valore max | 19.9           | 12.6      | 1078.6  | 20.3           | 13.6      | 1294.6  | 0.33             | 1.04      | 216.0   |
|                            | Valore min | 17.7           | 10.4      | 552.0   | 18.4           | 12.0      | 538.2   | 0.76             | 1.51      | -13.8   |
|                            | Valore med | 18.9           | 12.0      | 780.1   | 19.5           | 12.7      | 802.3   | 0.67             | 0.74      | 22.2    |
| Stagione<br>(Valore medio) | Primavera  | 20.6           | 13.4      | 49.4    | 21.2           | 14.3      | 53.2    | 0.63             | 0.85      | 3.8     |
|                            | Estate     | 26.1           | 18.7      | 47.1    | 27.1           | 19.7      | 47.8    | 0.99             | 1.07      | 0.7     |
|                            | Autunno    | 16.0           | 9.5       | 101.8   | 16.8           | 10.3      | 113.7   | 0.74             | 0.83      | 11.9    |
|                            | Inverno    | 12.7           | 6.2       | 68.0    | 13.1           | 6.6       | 56.7    | 0.46             | 0.35      | -11.4   |

Tabella 1 – evoluzione climatica nel comune di Livorno su base annuale e stagionale per il periodo 1955-2010. Il simbolo  $\Delta$  evidenzia la variazione tra i due distinti sottoperiodi (P1, 1955-1980; P2, 1981-2010).

Dalla tabella 1 si evince come nel periodo più recente (P2) si sia osservato un aumento generalizzato della temperatura di circa 0.7°C. Per quanto riguarda le precipitazioni, non è stata osservata una forte variazione rispetto alle condizioni medie del periodo precedente ( $\Delta T = +22$  mm; +3%). A scala stagionale, gli aumenti più consistenti si sono avuti nel periodo estivo, con un aumento della temperatura di circa 1°C sia per le minime che per le massime.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

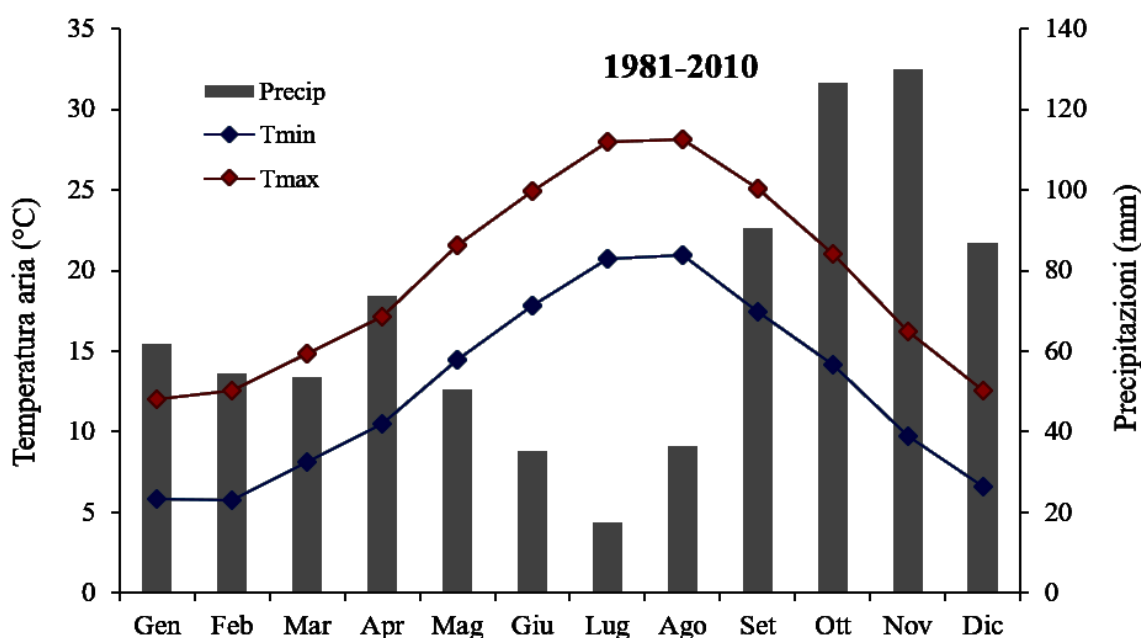


Figura 3 - Andamento climatico della città di Livorno per il periodo 1981-2010. Misure ottenute in situ da dati stazione del SIR.

L'analisi climatica a scala mensile per il periodo 1955-2010 (Fig. 3) evidenzia per la città di Livorno un pattern tipico delle aree mediterranee, con precipitazioni concentrate prevalentemente in autunno (novembre, 123 mm) e temperature medie massime più alte osservate nei mesi estivi di luglio ed agosto (~ 27.5°C). Le temperature medie minime più basse (~ 5.5°C) si osservano invece nei mesi di gennaio e febbraio.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

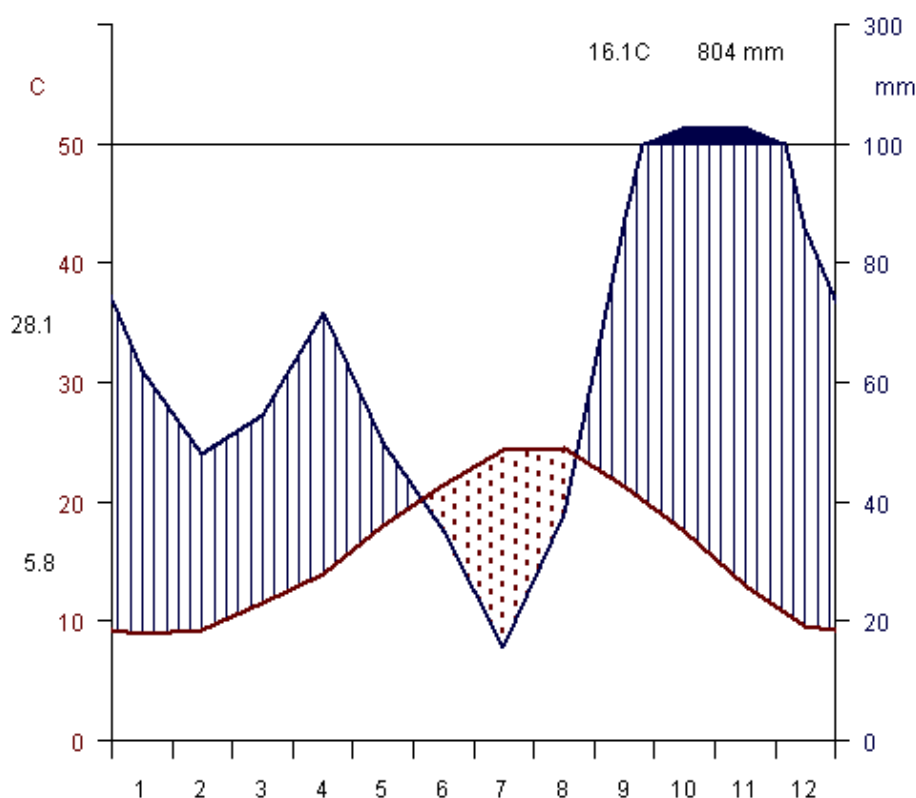


Figura 4 – diagramma climatico di Walter e Lieth per la città di Livorno (Fonte: LaMMA)

Il diagramma climatico di Walter e Lieth (Fig. 4) evidenzia come il periodo di maggior deficit idrico o aridità sia concentrato prevalentemente tra giugno ed agosto, mentre quello con precipitazioni superiori a 100 mm, e quindi dove è più probabile che si verifichino fenomeni di dissesto idrogeologico e idraulico, sia nel pieno dell'autunno (ottobre-novembre). Il grafico mostra in particolare i valori in modo tale che per valori mensili delle precipitazioni superiori a 100 mm, il periodo piovoso sia rappresentato con campitura in nero. Per quanto riguarda invece l'analisi degli estremi termici (Tab. 2), si evidenzia un massimo di 37°C a fine luglio 1983 ed un minimo assoluto per l'11 gennaio del 1985.



**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Nello stesso anno si sono registrati anche il numero massimo di giorni di ghiaccio (2) e di gelo (11). Il massimo numero di giorni con temperature superiori a 34°C è stato di 2 e si sono registrati nel 1992, 1995 e nel 2003.

| <b>ESTREMI TERMICI</b> | <b>°C</b> | <b>Data</b>    |
|------------------------|-----------|----------------|
| Tmin assoluta          | -7.0      | 11/01/1985     |
| Tmax assoluta          | 37.0      | 30/07/1983     |
| giorni ghiaccio totali | 2.0       | 1985           |
| giorni ghiaccio max    | 2.0       | 1985           |
| giorni gelo medi       | 3.0       |                |
| giorni gelo max        | 11.0      | 1985-1991      |
| giorni T>34°C medi     | 0.0       |                |
| giorni T>34°C max      | 2.0       | 1992-1995-2003 |
| indice continentalità  | 16.0      |                |

Tabella 2 – estremi termici per la città di Livorno per il periodo 1981-2010. (Fonte: LaMMA)

Il massimo di pioggia annuale (1295 mm) si è registrato nel 2010 mentre il minimo (539) è stato registrato nel 1998. A scala stagionale sia i massimi che i minimi sono stati registrati tutti in anni diversi. Per il periodo primaverile il massimo (301) ed il minimo (90) sono stati registrati rispettivamente nel 2010 e 1987. Per il periodo estivo il massimo (197) ed il minimo (15) sono stati registrati rispettivamente nel 1984 e 2001. Per il periodo autunnale il massimo (557) ed il minimo (80) sono stati registrati rispettivamente nel 1993 e 1983. Per il periodo invernale il massimo (385) ed il minimo (40) sono stati registrati rispettivamente nel 2009 e 1992.

| <b>ESTREMI PLUVIOMETRICI</b> | <b>Media</b> | <b>Max</b> | <b>Data pioggia Max</b> | <b>Min</b> | <b>Data pioggia Min</b> |
|------------------------------|--------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|
| Pioggia annuale              | 804          | 1295       | 2010                    | 539        | 1998                    |

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



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



|                   |     |     |      |    |      |
|-------------------|-----|-----|------|----|------|
| Pioggia Primavera | 176 | 301 | 2010 | 90 | 1987 |
| Pioggia Estate    | 88  | 197 | 1984 | 15 | 2001 |
| Pioggia Autunno   | 344 | 557 | 1993 | 80 | 1983 |
| Pioggia Inverno   | 196 | 385 | 2009 | 40 | 1992 |

Tabella 3 – estremi pluviometrici per la città di Livorno per il periodo 1981-2010. (Fonte: LaMMA)

#### 2.4.1. Dataset dei dati grigliati

L'utilizzo dei dati grigliati ha permesso di ricostruire per una superficie più ampia analisi statistiche che possano essere considerate rappresentative del clima dell'intero comune sino agli anni più recenti (2017).

#### 2.4.2. Andamento climatico per il periodo 1975-2017.

L'analisi climatica per il periodo 1975-2017 (dati grigliati) evidenzia un tipico pattern di tipo Mediterraneo, con precipitazioni concentrate prevalentemente in autunno (novembre, 113 mm) e temperature medie massime più alte osservate nei mesi estivi di luglio ed agosto (~ 29°C).

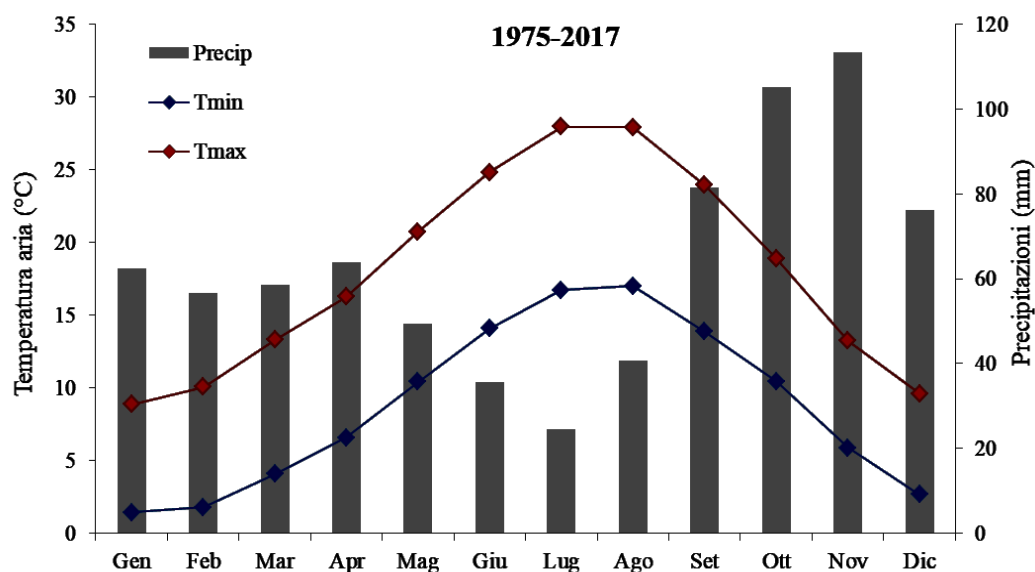


Figura 5 – Andamento climatico (dati grigliati) della zona di Livorno per il periodo 1975-2017. Tale periodo è stato considerato come scenario di partenza o di base (baseline) rispetto all'analisi per valutare le dinamiche previste per il futuro.

Per quanto riguarda invece i valori estremi, fondamentali al fine di fornire informazioni inerenti le maggiori criticità sul territorio, sono stati riportati differenti indicatori in accordo a quanto definito dal gruppo di esperti sul rilevamento e gli indici di cambiamento climatico (ETCCDI).

Per il periodo 1975-2017, l'analisi degli estremi evidenzia un numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C pari a 3538 (~ 82 all'anno in media), un numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20°C pari a 270 ed un numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C pari a 1420 (~ 33 all'anno in media). Il numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm è stato di 1081 (~ 25 all'anno in media) mentre il numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 20 mm è stato di 357 (~ 8 all'anno in media). Tali indici sono risultati



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



di particolare interesse soprattutto nel confronto tra i due periodi analizzati, in quanto hanno evidenziato una chiara modifica del pattern climatico relativo agli indicatori estremi.

Il grafico definisce la situazione climatica media attuale e risulta essere il punto di partenza per l'analisi sia delle variazioni climatiche medie tra le ultime decadi che per la valutazione degli estremi. Questi ultimi, valutati su scala giornaliera, sono riportati nella successiva sezione 3 relativamente a ciò che è atteso per il futuro.

#### *2.4.3. Analisi dell'andamento climatico per i periodi 1975-1999 e 2000-2017*

L'analisi climatica per il periodo 1975-2017, prendendo in considerazione un periodo di oltre 40 anni, non riflette bene quelle che possono essere stati i cambiamenti delle principali variabili climatiche (cioè temperatura e precipitazione) nel corso del tempo. Per identificare un trend climatico, e quindi evidenziare quelle che sono le dinamiche prevedibili per il futuro, la serie storica è stata perciò suddivisa in due sotto-serie ognuna identificata da un numero di anni tale da permettere una accettabile significatività statistica. Le due nuove serie temporali (1975-1999 e 2000-2017) hanno così permesso di valutare le modifiche delle principali variabili climatiche tra le ultime decadi del 20° secolo e le prime del 21° secolo (Figura 4)



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

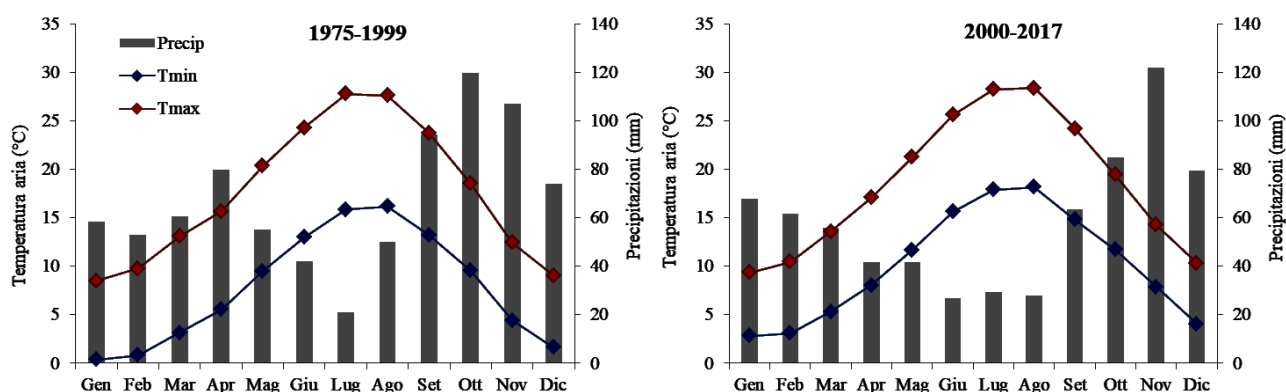


Figura 6 – Andamento climatico della zona di Livorno (dataset grigliato) per i periodi 1975-1999 e 2000-2017.

L'analisi climatica tra le due serie ha mostrato significative differenze tra i due sottoperiodi. Le temperature minime hanno messo in evidenza un aumento di 2.3 °C, mentre le massime sono salite di circa 1 °C. Anche le precipitazioni hanno mostrato variazioni, con una riduzione (-12%) nel periodo più recente rispetto al 1975-1999.

Per il periodo 1975-1999 l'analisi degli estremi evidenzia un numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C pari a 1947 (~ 77 all'anno in media), un numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20°C pari a 19 ed un numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore ai 0°C pari a 1102 (~ 44 all'anno in media). Il numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm è stato di 675 (~ 27 all'anno in media) mentre il numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 20 mm è stato di 221 (~ 8 all'anno in media). In particolare gli eventi di maggior rilievo si sono manifestati, per quanto riguarda le variabili termiche, nel gennaio del 1985 (FD = -14°C); nel luglio del 1983 (SU = 35.2°C) e nel luglio del 1994 (TR/TN = 22°C). Al fine di evidenziare al meglio queste variazioni tra i due periodi si riporta in figura 4 e 5 la differenza tra temperature massime, minime e di precipitazione.





# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

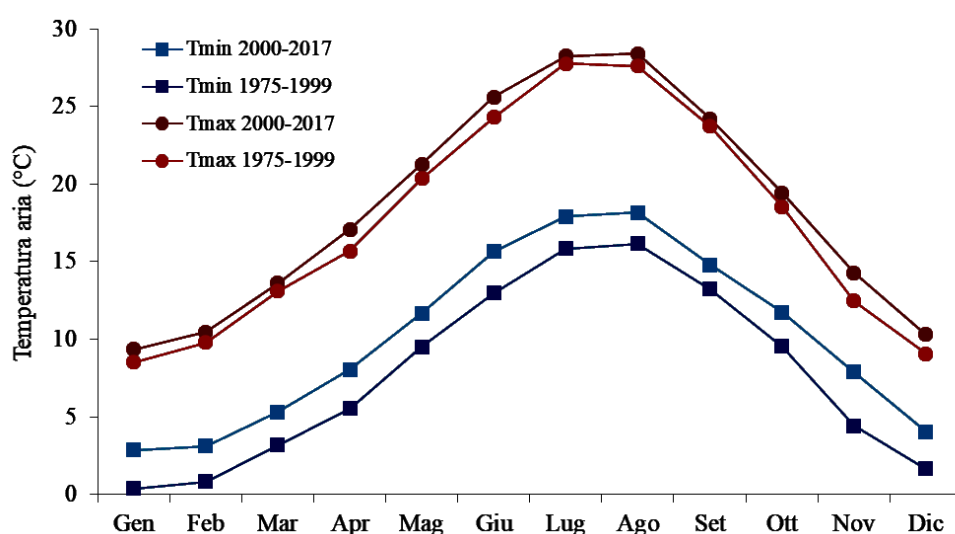


Figura 7 - Differenze tra le temperature massime e minime per la zona di Livorno (dati grigliati) per i periodi 1975-1999 e 2000-2017.

Per quanto riguarda la differenza di temperatura, dalla figura 4 emerge come le differenze maggiori riguardino soprattutto le temperature minime. Incrementi maggiori nelle minime si sono verificati soprattutto nel periodo autunno-invernale, con i mesi di novembre, dicembre e gennaio che hanno mostrato differenze più elevate rispetto al periodo precedente.

Per il periodo 1999-2017 l'analisi degli estremi evidenzia un numero di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C pari a 1591 (~ 83 all'anno in media), un numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20°C pari a 251 (~ 13 all'anno in media) ed un numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore ai 0°C pari a 318 (~ 16 all'anno in media). Il numero di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 10 mm è stato di 406 (~ 21 all'anno in media) mentre il numero



di giorni con precipitazione maggiore o uguale a 20 mm è stato di 136 (~ 7 all'anno in media). In particolare gli eventi di maggior rilievo si sono manifestati, per quanto riguarda le variabili termiche, nel gennaio del 2000 (FD = -6.3°C); nel luglio del 2003 (SU = 37°C) e nell'agosto del 2009 (TR/TN = 24.5°C).

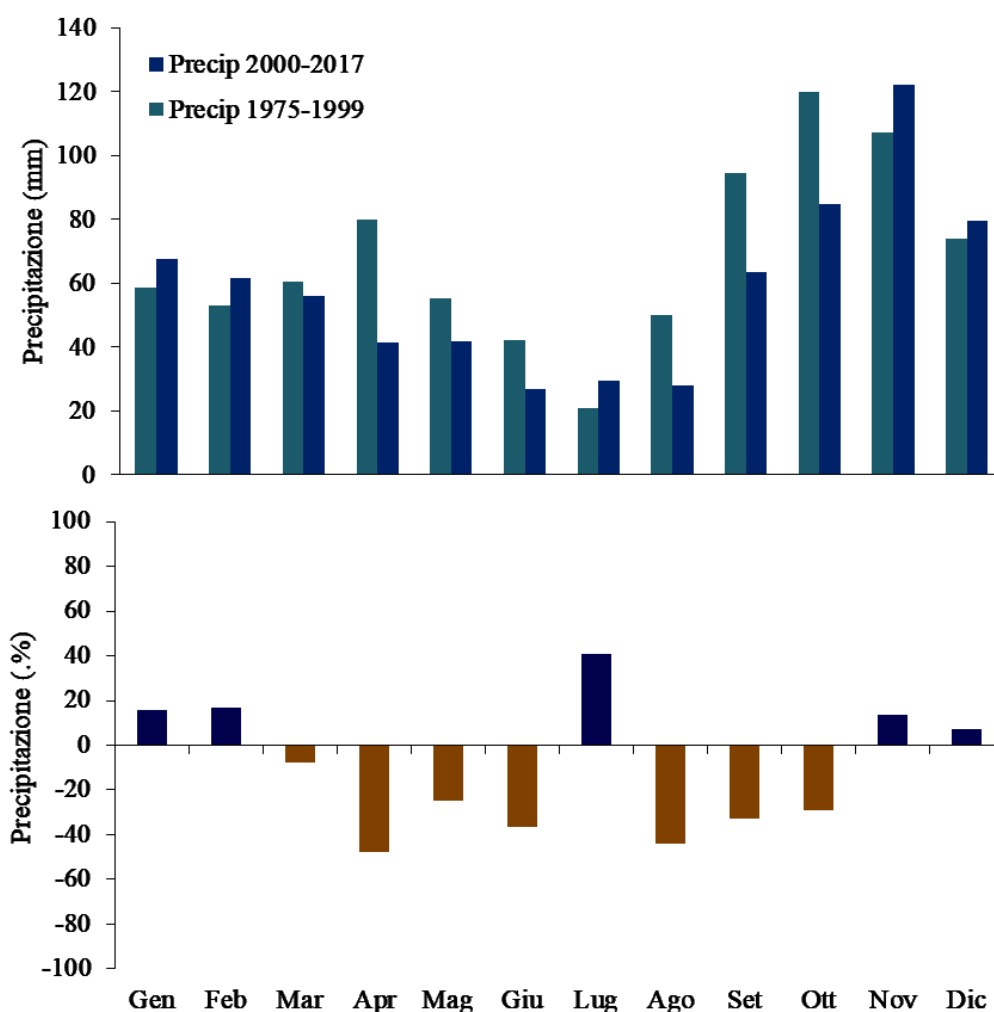




Figura 8 – Differenze di precipitazione per la zona di Livorno (dati grigliati) per i periodi 1975-1999 e 2000-2017.

Anche le precipitazioni hanno evidenziato notevoli variazioni. Nella figura 5 sono state riportate in alto le precipitazioni cumulate mensili per i periodi 1975-1999 e 2000-2017, mentre in basso sono state evidenziate le differenze. Dalla figura emerge come, a fronte di un incremento di pioggia nel periodo invernale, probabilmente associato ad un rialzo termico durante questi mesi, abbia fatto da contraltare un netto decremento delle precipitazioni durante il periodo primaverile estivo, con punte di oltre il 40 % di pioggia in meno nei mesi di aprile ed agosto.

### 3. Analisi climatica: scenari futuri

#### 3.1. Scenari climatici futuri

Il pattern climatico per la città di Livorno per le prossime decadi è stato ottenuto a partire da dati generati da modelli climatici a scala globale. In questa analisi, nello specifico, è stato utilizzato il modello LARS WG5 (Semenov 1998, 2002). In generale, i modelli di circolazione generale si basano sugli scenari di concentrazioni di gas serra e sono prodotti seguendo le linee guida dell'IPCC (International Panel of Climate Change) (IPCC, 2013). Gli scenari che sono alla base delle proiezioni dell'AR5 (V Assessment Report, AR5 o report di valutazione) sono noti come RCP (Representative Concentration Pathways – Percorsi Rappresentativi di Concentrazione) perché essi sono espressi in termini di concentrazioni di gas serra (il risultato delle emissioni) piuttosto che in termini di livelli di emissioni. Ogni scenario implica una diversa entità di cambiamento climatico prodotto dalle attività umane (ad esempio, ciascun RCP mostra una diversa quantità di calore addizionale immagazzinato nel sistema Terra quale risultato delle emissioni di gas serra) a cui vengono conseguentemente associate le variabili meteorologiche e la loro intensità (Figura 6).



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

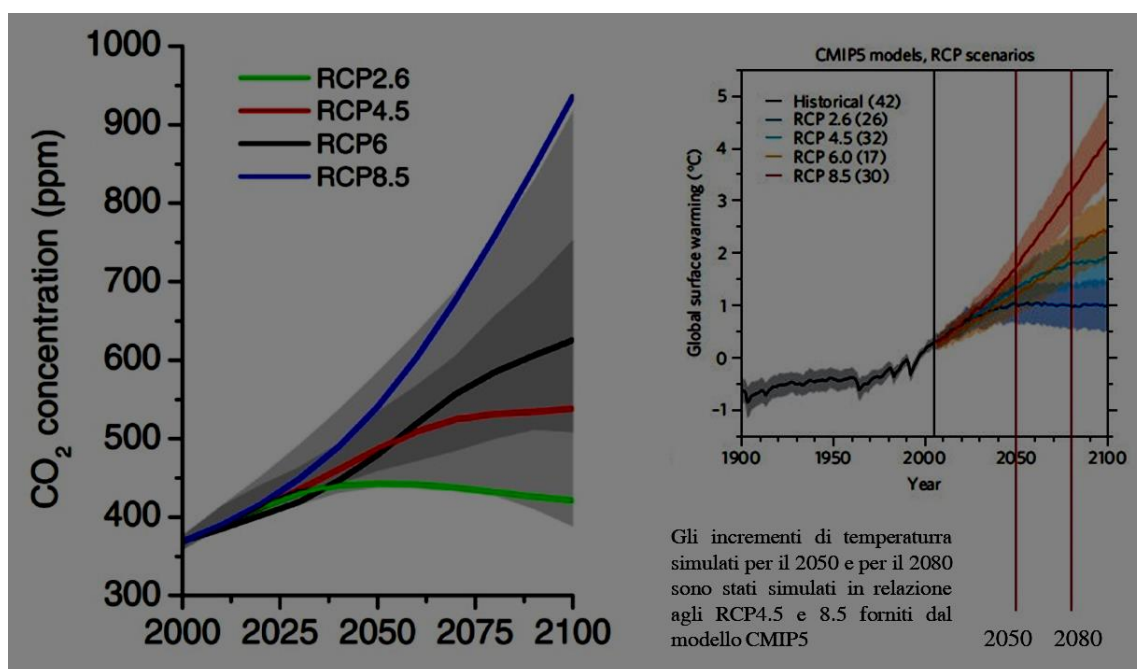


Figura 9 – Concentrazione di CO<sub>2</sub> ipotizzata per i diversi RCP (a sinistra) e relativo incremento di temperatura della superficie terrestre (a destra) ipotizzato fino alla fine del secolo. Fonte IPCC 2013 e Knutti & Sedlacek (2012).

Gli scenari climatici rispecchiano un'ampia gamma di possibili evoluzioni del sistema Terra, prevedendo perciò pattern diversi che dipendono da aspetti quali incremento demografico, evoluzione tecnologica, politiche sociali ecc. Il numero associato a ciascun RCP indica la forza dei cambiamenti climatici generati dall'attività umana entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale. Esistono 4 tipi di scenari:

- a) RCP2.6: assume strategie 'aggressive' per le quali le emissioni di gas serra iniziano a diminuire dopo circa un decennio e si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni a partire dal periodo

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



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



attuale.

- b) RCP4.5: (medio-basso) assume strategie che intraprendano alcune iniziative per controllare le emissioni. È uno scenario che assume una stabilizzazione delle emissioni. Entro il 2070 le emissioni di CO<sub>2</sub> 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.
- c) RCP6.0: (medio-alto) Benché molto simile allo scenario 4.5, nell'RCP6.0 le emissioni di CO<sub>2</sub> continuano tuttavia a crescere fino a circa il 2080. Le concentrazioni impiegano più tempo a stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5
- d) RCP8.5: assume un approccio 'business as usual'. Entro il 2100, le concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub> sono triplicate o quadruplicate rispetto ai livelli preindustriali

Se rapportati ad un incremento di temperatura, con variazioni che dipendono dalla dimensione dei tagli alle emissioni, entro la fine del XXI secolo l'innalzamento della temperatura media globale alla superficie del suolo e degli oceani per ogni RCP sarà compresa in un intervallo che varia tra: +0.37°C e +4.8°C. Più specificatamente, questo intervallo deriva dalle singole ipotesi dei diversi RCP: RCP8.5= 2,6-4,8°C; RCP6.0= 1,4-3,1°C; RCP4.5= 1,1-2,6°C; RCP2.6= 0,3-1,7°C.

### 3.2. Variabilità climatica futura

Le proiezioni climatiche future presentano al loro interno un livello di incertezza piuttosto alto. Tuttavia tale livello di incertezza varia a seconda della variabile considerata. Ad esempio il livello di incertezza per la modifica delle precipitazioni, soprattutto in termini di quantità, è piuttosto elevata. A tale variabile è infatti difficile associare decrementi percentuali precisi o altresì una variazione degli eventi



**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

in termini di intensità e frequenza. Viceversa, un minor livello di incertezza è plausibile per la previsione della modifica dei trend delle temperature. Data l'esistenza di tali incertezze, spesso intrinseche nella metodologia di creazione del dato meteo stesso, è stato deciso di considerare non solo la variabilità delle temperature in modo lineare (L; ovvero considerando un incremento costante per tutti i giorni dell'anno), ma anche una variabilità stagionale (SV) al cambiamento del clima, in modo da evidenziare uno scenario alternativo ma comunque conforme e possibile rispetto a ciò che potrebbe accadere (Figura 8). L'analisi di variabilità stagionale è stata utilizzata in accordo alla metodologia fornita dell'IPCC, in modo da ridurre maggiormente il livello di incertezza nell'analisi del clima. Le proiezioni future per la città di Livorno hanno preso in considerazione due scenari climatici (RCP4.5 e 8.5), due periodi temporali (2050 e 2080) e i due metodi di variazione climatica precedentemente descritti (lineare, L e variazione stagionale SV; figura 8).

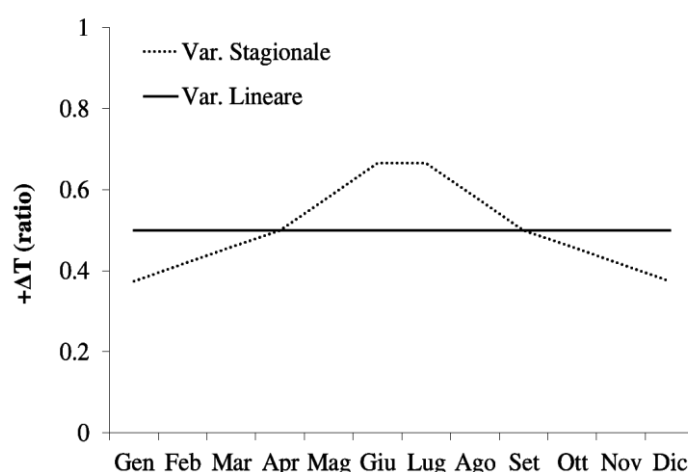


Figura 10 – Scenari climatici con variazione lineare (L, linea continua) e variazione stagionale (SV, linea tratteggiata). In entrambi i casi la media annuale di aumento della temperatura risulta essere uguale.



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### 3.3. Analisi climatica con incremento di temperatura lineare

L'analisi climatica con incremento di temperatura lineare fa riferimento alla generazione di scenari climatici futuri che prevedono un incremento di temperatura costante per tutti i mesi dell'anno. Gli scenari climatici sono stati generati utilizzando RCP4.5 al 2050 ed al 2080, corrispondenti ad un incremento di temperatura rispettivamente di +1.2°C e +2°C, e RCP8.5 al 2050 ed al 2080, corrispondenti ad un incremento di temperatura rispettivamente di +1.8°C e +3°C.

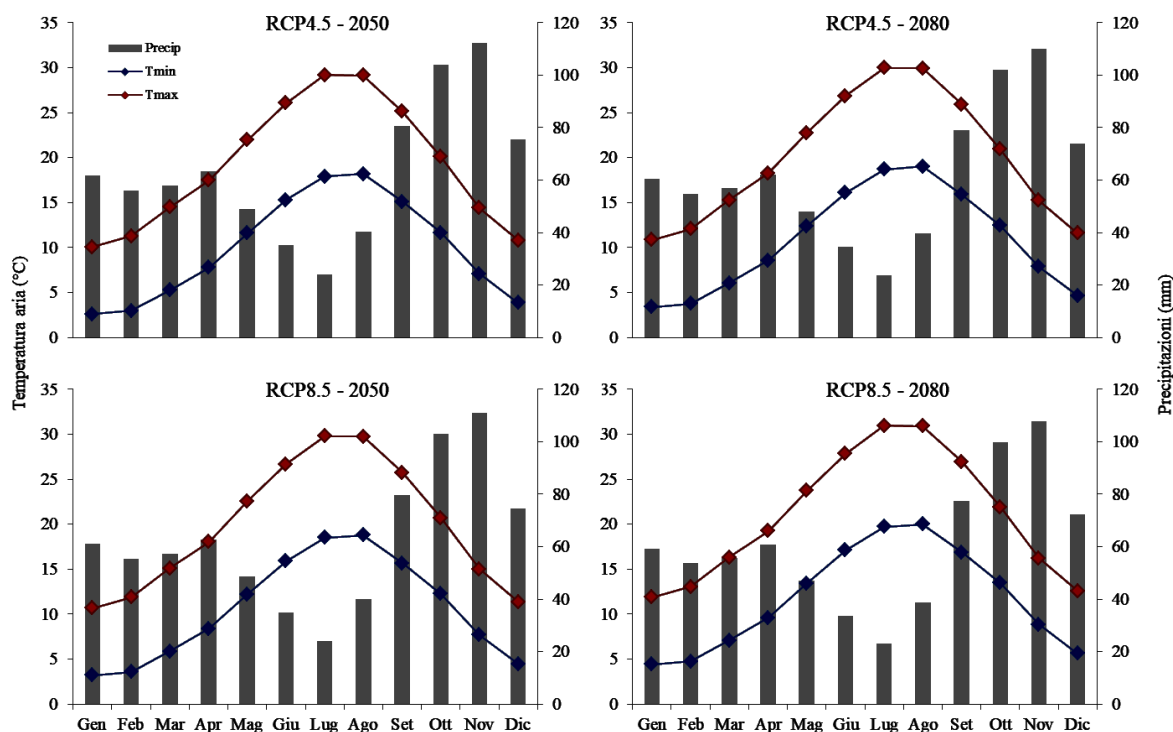


Figura 11 – Andamento mensile delle temperature massime, minime e delle precipitazioni per scenari climatici ottenuti considerando un incremento giornaliero di temperatura lineare. In grafico sono stati riportati gli andamenti per gli RCP4.5 e RCP8.5 con riferimento al periodo al 2050 ed al 2080



**Interreg**  
 UNIONE EUROPEA  
**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

L'incremento di temperatura lineare con i dati ottenuti tramite LARS-WE ver5 evidenzia una tendenza generale all'aumento di temperatura durante tutto il corso dell'anno per tutti gli scenari e i periodi futuri selezionati. L'incremento di temperatura è stato riportato in percentuale per evidenziarne l'impatto rispetto al periodo attuale. Come previsto, un'evoluzione che prevede condizioni rappresentate al 2080 utilizzando lo scenario RCP8.5 risulta essere quella che causa condizioni più estreme, ovvero un clima caratterizzato da un notevole aumento delle temperature minime e massime soprattutto nei mesi più freddi (dicembre, gennaio e febbraio).

|           | Month | Baseline (1975-2017) | RCP45_L |       | RCP45_SV |       | RCP85_L |       | RCP85_SV |
|-----------|-------|----------------------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|----------|
|           |       |                      | 2050    | 2080  | 2050     | 2080  | 2050    | 2080  | 2050     |
|           | ---   | ---                  | 2050    | 2080  | 2050     | 2080  | 2050    | 2080  | 2050     |
| Tmin (°C) | Gen   | 1.41                 | 2.61    | 3.41  | 2.31     | 3.11  | 3.21    | 4.41  | 2.91     |
|           | Feb   | 1.77                 | 2.97    | 3.77  | 2.77     | 3.57  | 3.57    | 4.77  | 3.37     |
|           | Mar   | 4.07                 | 5.27    | 6.07  | 5.17     | 5.97  | 5.87    | 7.07  | 5.77     |
|           | Apr   | 6.58                 | 7.78    | 8.58  | 7.78     | 8.58  | 8.38    | 9.58  | 8.38     |
|           | Mag   | 10.42                | 11.62   | 12.42 | 11.82    | 12.62 | 12.22   | 13.42 | 12.42    |
|           | Giu   | 14.09                | 15.29   | 16.09 | 15.69    | 16.49 | 15.89   | 17.09 | 16.29    |
|           | Lug   | 16.70                | 17.90   | 18.70 | 18.30    | 19.10 | 18.50   | 19.70 | 18.90    |
|           | Ago   | 17.00                | 18.20   | 19.00 | 18.40    | 19.20 | 18.80   | 20.00 | 19.00    |
|           | Set   | 13.88                | 15.08   | 15.88 | 15.08    | 15.88 | 15.68   | 16.88 | 15.68    |
|           | Ott   | 10.45                | 11.65   | 12.45 | 11.55    | 12.35 | 12.25   | 13.45 | 12.15    |
|           | Nov   | 5.87                 | 7.07    | 7.87  | 6.87     | 7.67  | 7.67    | 8.87  | 7.47     |
|           | Dic   | 2.65                 | 3.85    | 4.65  | 3.55     | 4.35  | 4.45    | 5.65  | 4.15     |
| Tmax (°C) | Gen   | 8.87                 | 10.07   | 10.87 | 9.77     | 10.57 | 10.67   | 11.87 | 10.37    |
|           | Feb   | 10.07                | 11.27   | 12.07 | 11.07    | 11.87 | 11.87   | 13.07 | 11.67    |
|           | Mar   | 13.31                | 14.51   | 15.31 | 14.41    | 15.21 | 15.11   | 16.31 | 15.01    |
|           | Apr   | 16.26                | 17.46   | 18.26 | 17.46    | 18.26 | 18.06   | 19.26 | 18.06    |
|           | Mag   | 20.74                | 21.94   | 22.74 | 22.14    | 22.94 | 22.54   | 23.74 | 22.74    |

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





**Interreg**  
**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Giu | 24.84 | 26.04 | 26.84 | 26.44 | 27.24 | 26.64 | 27.84 | 27.04 |
| Lug | 27.97 | 29.17 | 29.97 | 29.57 | 30.37 | 29.77 | 30.97 | 30.17 |
| Ago | 27.93 | 29.13 | 29.93 | 29.33 | 30.13 | 29.73 | 30.93 | 29.93 |
| Set | 23.93 | 25.13 | 25.93 | 25.13 | 25.93 | 25.73 | 26.93 | 25.73 |
| Ott | 18.91 | 20.11 | 20.91 | 20.01 | 20.81 | 20.71 | 21.91 | 20.61 |
| Nov | 13.22 | 14.42 | 15.22 | 14.22 | 15.02 | 15.02 | 16.22 | 14.82 |
| Dic | 9.59  | 10.79 | 11.59 | 10.49 | 11.29 | 11.39 | 12.59 | 11.09 |

Tabella 4 – Variazione medie mensili di temperatura minima e massima per gli scenari (RCP45. E 8.5) e periodi (2050 e 2080) prescelti in rapporto alla baseline (1975-2017) utilizzando sia l'analisi considerante la variazione climatica Lineare (L) che quella stagionale (SV).

Per un'analisi di dettaglio sono stati poi analizzati gli estremi termici, individuati come giorni con temperature giornaliere minime di <0°C e massime di >30°C. Con tale analisi sono state valutate le variazioni del numero di giorni con tali temperature tra il periodo presente, considerato come 1975-2017, ed il futuro (Tabella 5).

|           |                | Baseline |           | RCP45-2050 |           | RCP45-2080 |           | RCP85-2050 |           | RCP85-2080 |           |        |
|-----------|----------------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|--------|
|           |                | Totale   | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax   |
| Anno      | Giorni (n°)    | 15706    | 1420      | 632        | 892       | 1202       | 615       | 1697       | 680       | 1599       | 357       | 2323   |
|           | Giorni (%)     | 1        | 0.09      | 0.04       | 0.057     | 0.077      | 0.039     | 0.108      | 0.043     | 0.102      | 0.023     | 0.148  |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | -36.67    | 92.50      | -56.67    | 170.00     | -52.22    | 155.00     | -74.44    | 270.00 |
| Primavera | Giorni (n°)    | 3913     | 8         | 68         | 2         | 153        | 1         | 236        | 1         | 213        | 1         | 358    |
|           | Giorni (%)     | 100%     | 0.20      | 1.74       | 0.05      | 3.91       | 0.03      | 6.03       | 0.03      | 5.44       | 0.03      | 9.15   |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | -75.00    | 125.00     | -87.50    | 247.06     | -87.50    | 213.24     | -87.50    | 426.47 |
| Estate    | Giorni (n°)    | 3956     | ---       | 551        | ---       | 1036       | ---       | 1444       | ---       | 1355       | ---       | 1934   |
|           | Giorni (%)     | 100%     | ---       | 13.93      | ---       | 26.19      | ---       | 36.50      | ---       | 34.25      | ---       | 48.89  |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | ---       | 88.02      | ---       | 162.07     | ---       | 145.92     | ---       | 251.00 |
| Autunno   | Giorni (n°)    | 3870     | 441       | ---        | 243       | ---        | 167       | ---        | 178       | ---        | 88        | ---    |

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



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



|         |                |      |       |     |        |     |        |     |        |     |        |     |
|---------|----------------|------|-------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
|         | Giorni (%)     | 100% | 11.40 | --- | 6.28   | --- | 4.32   | --- | 4.60   | --- | 2.27   | --- |
|         | Variazione (%) | ---  | 100%  | --- | -44.90 | --- | -62.13 | --- | -59.64 | --- | -80.05 | --- |
|         | Giorni (n°)    | 3967 | 996   | --- | 626    | --- | 434    | --- | 484    | --- | 256    | --- |
| Inverno | Giorni (%)     | 100% | 25.11 | --- | 15.78  | --- | 10.94  | --- | 12.20  | --- | 6.45   | --- |
|         | Variazione (%) | ---  | 100%  | --- | -37.15 | --- | -56.43 | --- | -51.41 | --- | -74.30 | --- |

*Tabella 5 – Variazione degli estremi di temperatura minima (<0°C, frost days; FD) e massima (>30°C) su base annuale e stagionale in rapporto al numero totale (giorni %) e rispetto agli estremi stessi per il periodo corrente (baseline, 1975-2017) sulla base dell'analisi climatica lineare (L) e per gli scenari (RCP45, E 8.5) e periodi (2050 e 2080) prescelti.*

Analizzando la tabella 5, emerge come avvicinandosi alla fine del secolo e sotto lo scenario più caldo (RCP8.5) si osserva un decremento importante del numero di giorni con temperature inferiori a 0°C ed un consistente aumento dei giorni con temperature maggiori di 30°C. Viceversa, le temperature massime sopra 30 °C che per il periodo corrente rappresentano il 4% del totale annuo (ovvero, in media circa 15 giorni per anno), sono previste aumentare fino al 14.8% (ovvero, in media circa 52 giorni per anno). Su base stagionale, per quanto riguarda i frost days (FD), si osserva un progressivo decremento durante i periodi primaverili autunnali e invernali in entrambi gli RCP, con riduzioni prossime al 90% principalmente durante il periodo primaverile. Per quanto riguarda le temperature massime > di 30°C si osserva un incremento sostanziale sia in estate che in primavera, con incrementi di oltre il 400% soprattutto nel periodo primaverile.

### 3.4. Analisi climatica con incremento di temperatura variabile

L'analisi climatica con incremento di temperatura variabile, a seconda della stagione (SV), fa riferimento alla generazione di scenari climatici futuri che prevedono un incremento di temperatura diverso nei diversi mesi dell'anno. Gli scenari climatici sono stati generati utilizzando RCP4.5 al 2050



# Interreg



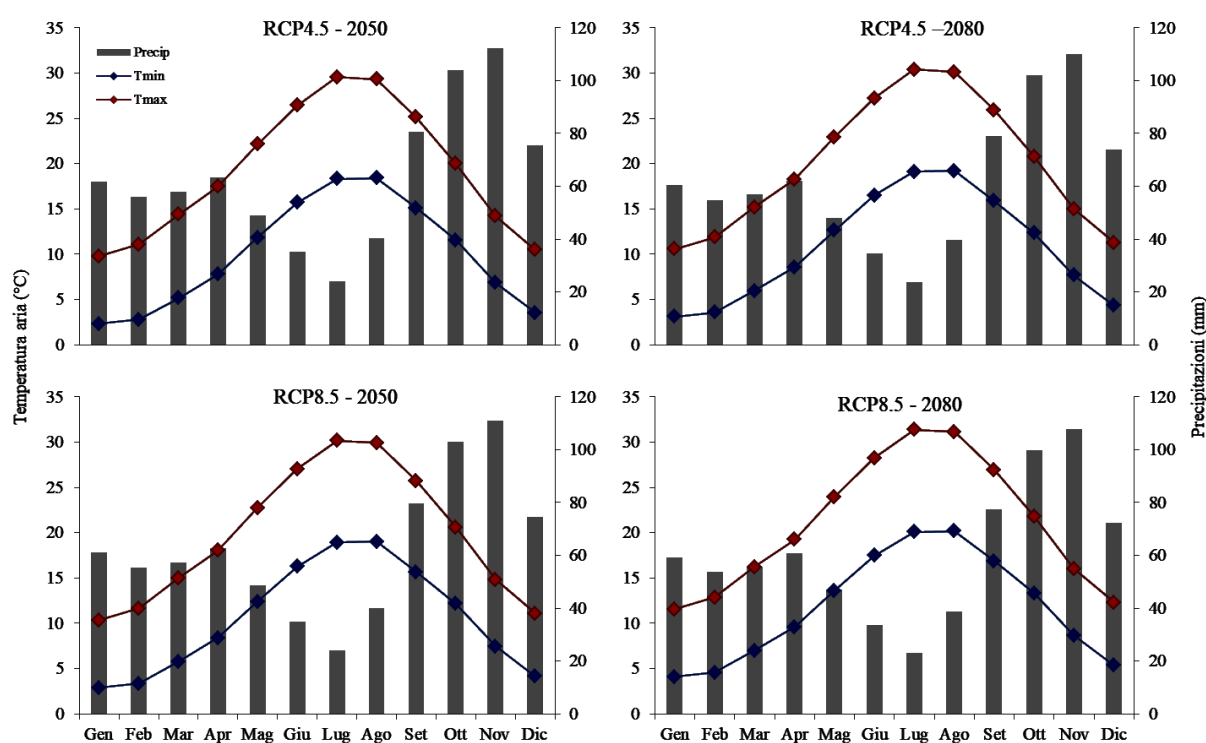
UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ed al 2080, corrispondenti ad un incremento di temperatura rispettivamente di +1.2°C e +2°C, e RCP8.5 al 2050 ed al 2080, corrispondenti ad un incremento di temperatura rispettivamente di +1.8°C e +3°C (Figura 9). L'incremento di temperatura stagionale con i dati ottenuti tramite LARS-WE ver5 evidenzia una tendenza generale all'aumento di temperatura durante tutto il corso dell'anno per tutti gli scenari e i periodi futuri selezionati. Come aspettato, un'evoluzione che prevede la situazione al 2080, utilizzando lo scenario RCP8.5, risulta essere quella che causa condizioni più estreme. Diversamente dai plot rappresentanti l'incremento di temperatura lineare, il pattern climatico assume una forma leggermente diversa, con un picco più pronunciato della gaussiana nei mesi estivi rispetto a valori più bassi in quelli invernali.





**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 12 – Andamento mensile delle temperature massime, minime e delle precipitazioni per scenari climatici ottenuti considerando un incremento giornaliero di temperatura variabile. In grafico sono stati riportati gli andamenti per gli RCP4.5 e RCP8.5 con riferimento al periodo al 2050 ed al 2080

| Mese | Baseline         | RCP45_L |       | RCP85_L |       | Baseline         | RCP45_L |       | RCP85_L |       |
|------|------------------|---------|-------|---------|-------|------------------|---------|-------|---------|-------|
|      | (1975-2017)      | 2050    | 2080  | 2050    | 2080  | (1975-2017)      | 2050    | 2080  | 2050    | 2080  |
|      | <b>Tmin (°C)</b> |         |       |         |       | <b>Tmax (°C)</b> |         |       |         |       |
| Gen  | 1.41             | 2.31    | 3.12  | 2.90    | 4.12  | 8.87             | 9.76    | 10.56 | 10.38   | 11.53 |
| Feb  | 1.77             | 2.76    | 3.56  | 3.36    | 4.57  | 10.07            | 11.08   | 11.88 | 11.68   | 12.89 |
| Mar  | 4.07             | 5.17    | 5.98  | 5.78    | 6.96  | 13.31            | 14.37   | 15.17 | 15.04   | 16.24 |
| Apr  | 6.58             | 7.76    | 8.55  | 8.36    | 9.61  | 16.26            | 17.40   | 18.21 | 18.05   | 19.19 |
| Mag  | 10.42            | 11.77   | 12.61 | 12.40   | 13.65 | 20.74            | 22.19   | 23.02 | 22.81   | 23.85 |
| Giu  | 14.09            | 15.64   | 16.49 | 16.34   | 17.47 | 24.84            | 26.33   | 27.32 | 27.08   | 28.32 |
| Lug  | 16.7             | 18.37   | 19.04 | 18.87   | 20.04 | 27.97            | 29.65   | 30.49 | 30.21   | 31.33 |
| Ago  | 17               | 18.36   | 19.21 | 19.04   | 20.23 | 27.93            | 29.33   | 30.16 | 29.89   | 31.00 |
| Set  | 13.88            | 15.13   | 15.82 | 15.68   | 16.93 | 23.93            | 25.13   | 25.84 | 25.84   | 27.04 |
| Ott  | 10.45            | 11.60   | 12.33 | 12.12   | 13.38 | 18.91            | 20.04   | 20.80 | 20.61   | 21.75 |
| Nov  | 5.87             | 6.87    | 7.69  | 7.45    | 8.69  | 13.22            | 14.28   | 15.07 | 14.81   | 16.00 |
| Dic  | 2.65             | 3.55    | 4.35  | 4.16    | 5.35  | 9.59             | 10.45   | 11.32 | 11.12   | 12.28 |

Tabella 6 – Variazione medie mensili di temperatura minima e massima per gli scenari (RCP45. E 8.5) e periodi (2050 e 2080) prescelti in rapporto alla baseline (1975-2017) utilizzando l'analisi di variazione stagionale

Anche nel caso della tabella 6 si evidenzia come l'analisi climatica che considera la variabilità stagionale prevede le condizioni più estreme al 2080 utilizzando lo scenario RCP8.5, con un clima caratterizzato



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



da un aumento meno marcato delle temperature minime nei mesi più freddi (dicembre, gennaio e febbraio), ed un leggero aumento delle massime in quelli più caldi rispetto all'analisi climatica che ha considerato una variazione lineare delle temperature. Per un'analisi di dettaglio sono stati poi analizzati gli estremi termici, individuati come giorni con temperature giornaliere minime di  $<0^{\circ}\text{C}$  e massime di  $>30^{\circ}\text{C}$ . Con tale analisi sono state valutate le variazioni del numero di giorni con tali temperature tra il periodo presente, considerato come 1975-2017, ed il futuro (Tabella 7).

|           |                | Baseline |           | RCP45-2050 |           | RCP45-2080 |           | RCP85-2050 |           | RCP85-2080 |           |        |
|-----------|----------------|----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|--------|
|           |                | Totale   | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax       | Tmin (FD) | Tmax   |
| Anno      | Giorni (n°)    | 15706    | 1420      | 632        | 988       | 1242       | 696       | 1697       | 753       | 1751       | 408       | 2464   |
|           | Giorni (%)     | 100%     | 0.09      | 0.04       | 0.063     | 0.079      | 0.044     | 0.108      | 0.048     | 0.111      | 0.026     | 0.157  |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | -30.00    | 97.50      | -51.11    | 170.00     | -46.67    | 177.50     | -71.11    | 292.50 |
| Primavera | Giorni (n°)    | 3913     | 8         | 68         | 2         | 155        | 1         | 278        | 1         | 253        | 1         | 408    |
|           | Giorni (%)     | 100%     | 0.20      | 1.74       | 0.05      | 3.96       | 0.03      | 7.10       | 0.03      | 6.47       | 0.03      | 10.43  |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | -75.00    | 127.94     | -87.50    | 308.82     | -87.50    | 272.06     | -87.50    | 500.00 |
| Estate    | Giorni (n°)    | 3956     | ---       | 551        | ---       | 1078       | ---       | 1584       | ---       | 1481       | ---       | 2035   |
|           | Giorni (%)     | 100%     | ---       | 13.93      | ---       | 27.25      | ---       | 40.04      | ---       | 37.44      | ---       | 51.44  |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | 100%       | ---       | 95.64      | ---       | 187.48     | ---       | 168.78     | ---       | 269.33 |
| Autunno   | Giorni (n°)    | 3870     | 422       | ---        | 284       | ---        | 186       | ---        | 213       | ---        | 106       | ---    |
|           | Giorni (%)     | 100%     | 10.90     | ---        | 7.34      | ---        | 4.81      | ---        | 5.50      | ---        | 2.74      | ---    |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | ---        | -32.70    | ---        | -55.92    | ---        | -49.53    | ---        | -74.88    | ---    |
| Inverno   | Giorni (n°)    | 3967     | 970       | ---        | 686       | ---        | 490       | ---        | 530       | ---        | 290       | ---    |
|           | Giorni (%)     | 100%     | 24.45     | ---        | 17.29     | ---        | 12.35     | ---        | 13.36     | ---        | 7.31      | ---    |
|           | Variazione (%) | ---      | 100%      | ---        | -29.28    | ---        | -49.48    | ---        | -45.36    | ---        | -70.10    | ---    |

Tabella 7 – Variazione degli estremi di temperatura minima ( $<0^{\circ}\text{C}$ , frost days; FD) e massima ( $>30^{\circ}\text{C}$ ) su base sia annuale che stagionale in rapporto al numero totale (giorni %) e rispetto agli estremi stessi per il periodo corrente (baseline, 1975-2017) sulla base dell'analisi climatica stagionale (SV) e per gli scenari (RCP45. E 8.5) e periodi prescelti (2050 e 2080).



**Interreg**  
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Analizzando in dettaglio la tabella 7, dove sono stati riportati gli estremi termici (individuati come temperature giornaliere minime  $<0^{\circ}\text{C}$  e massime  $>30^{\circ}\text{C}$ ) è emerso come avvicinandosi alla fine del secolo e sotto lo scenario più caldo si osserva un decremento importante del numero di giorni con temperature inferiori a  $0^{\circ}\text{C}$  ed un consistente aumento dei giorni con temperature maggiori di  $30^{\circ}\text{C}$ . I giorni con temperature massime sopra  $30^{\circ}\text{C}$  che per il periodo corrente rappresentano il 4% del totale sul periodo 1975-2017, sono previsti aumentare fino al 15.7%. Su base stagionale, per quanto riguarda i frost days (FD), si osserva un progressivo decremento durante i periodi primaverili autunnali e invernali in entrambi gli RCP, con riduzioni prossime al 90% principalmente durante il periodo primaverile. Per quanto riguarda le temperature massime  $>$  di  $30^{\circ}\text{C}$  si osserva un incremento sostanziale sia in estate che in primavera, con incrementi di oltre il 500% soprattutto nel periodo primaverile.

#### **4. Conclusioni**

L'analisi climatica per la città di Livorno ha messo in evidenza l'attuale clima della città, sia come valori medi che estremi ed i cambiamenti climatici osservati nelle ultime decadi. I valori medi hanno subito un'importante aumento nelle ultime decadi. Ciò dimostra che il clima è in costante, ma soprattutto rapido cambiamento, e che tali modifiche potrebbero avere ripercussioni in molti ambiti. Inoltre le proiezioni climatiche future per la città di Livorno hanno evidenziato un possibile ulteriore aumento delle temperature che, unitamente al verificarsi di eventi estremi di temperatura e precipitazione, suggerisce come l'intera area oggetto di studio potrebbe incorrere in problematiche riguardanti vari settori quali il settore agricolo, l'edilizia, i trasporti, le infrastrutture e quello energetico in caso di totale assenza di azioni di mitigazione. Nel caso in cui non fosse possibile limitare le emissioni di gas serra e quindi questo riscaldamento entro un certo limite, con una tendenza verso lo scenario climatico "peggiore" (RCP8.5), l'analisi degli indici climatici estremi ha suggerito un probabile aumento del rischio



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



anche per la salute. In generale, le modifiche climatiche osservate e soprattutto quelle previste per i prossimi decenni potrebbero avere ricadute importanti sull'economia della città, con politiche economico e sociali che dovranno essere sempre più sviluppate ed improntate sia alla prevenzione che alla gestione del rischio climatico in tutti i diversi ambiti di impatto. In tale contesto, sarà necessario prevedere piani di adattamento capaci di ridurre l'impatto del previsto aumento di temperature e dei fenomeni estremi attraverso per esempio l'incremento del verde urbano, la modifica delle superfici riflettenti (cambiamento di albedo delle superfici) e specifiche strategie gestionali per il settore agricolo.



## **Glossario**

### **Albedo**

Potere riflettente di una superficie. L'albedo è la frazione di radiazione incidente che è riflessa in tutte le direzioni. È il rapporto, espresso in centesimi, tra l'energia riflessa o diffusa da un corpo e l'energia incidente.

### **Adattamento**

Processo di adattamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. L'adattamento cerca di limitare i danni e, soprattutto nei sistemi naturali, può essere agevolato al clima atteso e ai suoi effetti dall'intervento antropico.

### **Anomalia**

Deviazione di una variabile dal suo valore medio nel corso di un periodo di riferimento.

### **Atmosfera**

Massa gassosa che circonda il globo terrestre fino a circa 700 km di altezza. Nella troposfera terrestre (la parte più bassa, spessa 10-12 km) la composizione chimica è praticamente costante: 78% di azoto, 21% di ossigeno e l'1% di altri gas e di vapore acqueo. Si dice standard o tipo quando ci si riferisce a condizioni al livello del mare di 15 °C di temperatura e pressione di 760 mm di mercurio (o 1013 hPa).

### **Bioclimatologia, Biometeorologia**

Studio dell'influenza dei fattori climatici e meteorologici sulla vita e lo sviluppo degli esseri viventi.

### **Biosfera**

Parte della superficie e dell'atmosfera terrestre dove si manifesta la vita, sia essa animale o vegetale.

### **Cambiamento climatico**

Cambiamento dello stato del clima che persiste per un periodo di tempo prolungato e identificabile da cambiamenti della media e/o degli estremi delle sue proprietà. Esso può essere dovuto a processi naturali o a forzanti esterni. È stato definito dalla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change) 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".

### **Clima**

Descrizione statistica della variabilità media ed estrema delle principali variabili meteorologiche nel corso di un periodo di tempo di almeno 30 anni. In accordo all'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO – World Meteorological Organization), le grandezze rilevanti sono nella maggior parte dei casi parametri come temperatura, precipitazione e vento

### **Confidenza**

La confidenza è l'espressione qualitativa della validità di un risultato. La validità di un risultato è basata inoltre sul tipo, quantità, e coerenza delle prove, e sul grado di accordo.





### **Ecosistema**

Unità funzionale costituita dagli organismi viventi, dal loro ambiente non vivente, e dalle interazioni all'interno e fra di essi. Gli ecosistemi sono sistemi dinamici, soggetti ad evoluzione e la loro scala può variare dal molto piccolo all'intera biosfera.

### **Effetto Serra**

La bassa atmosfera (troposfera) si comporta come permeabile all'ultravioletto e alle radiazioni visibili ma riflettenti l'infrarosso emesso dal suolo.

### **Emissioni antropogeniche**

Le emissioni dei gas serra, dei precursori dei gas serra e gli aerosol causati dalle attività umane. Queste attività includono l'impiego di combustibili fossili, deforestazione, cambiamenti di uso del suolo, allevamento del bestiame, uso di fertilizzanti, gestione dei rifiuti e processi industriali.

### **Escursione Termica**

Differenza, nell'arco di 24 ore, di un mese, di una stagione o di un anno, tra il valore più elevato e quello più basso di temperatura

### **Evaporazione - Evapotraspirazione**

Trasformazione di un liquido in vapore senza ebollizione. Il vapore acqueo atmosferico proviene dall'evaporazione delle superfici liquide (soprattutto degli oceani), dall'evaporazione del suolo e dalla traspirazione delle piante. Il contributo totale costituisce l'evapotraspirazione. È un fenomeno fondamentale in meteorologia perché assorbe il calore (circa 600 cal/g) dell'ambiente e pertanto agisce sul clima; inoltre diminuisce le riserve di umidità del suolo, con conseguenze sui regimi dei corsi d'acqua, la vita vegetale, ecc.

### **Eventi meteorologici estremi**

Evento non consuetudinario per un determinato luogo o periodo dell'anno. Risulta estremo quando statisticamente collocato al decimo o novantesimo percentile di una funzione di densità della probabilità stimata sulla base delle osservazioni. Per definizione, le caratteristiche di quello che è chiamato tempo meteorologico estremo possono variare da un luogo all'altro in senso assoluto. Quando un pattern di tempo meteorologico estremo persiste per un certo periodo di tempo può essere classificato come evento climatico estremo (ad esempio periodi di siccità prolungata come effetto congiunto di alte temperature e assenza di precipitazioni).

### **Fenologia**

Studio dell'influenza dei climi della foliazione e la fioritura delle piante in rapporto all'epoca in cui si verificano e alla loro durata.

### **Forzanti climatiche**

Sostanze da processi naturali e antropici che alterano bilancio energetico della Terra.

### **Impatti**

Effetti sui sistemi naturali e umani a causa di eventi meteorologici, soprattutto estremi, che si distaccano notevolmente dal pattern climatico di lungo periodo di una determinata area. 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



## **Biometeorologia**

dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi. Ci si riferisce inoltre agli impatti come a conseguenze ed esiti.

### **IPCC**

Acronimo di Intergovernmental Panel on Climate Change. È l'organizzazione che, a partire dal 1988, valuta, su basi scientifiche, tecniche e socioeconomiche, i cambiamenti climatici in atto, le loro possibili conseguenze e la possibile responsabilità dell'uomo e suggerisce eventuali soluzioni per la riduzione di tale cambiamento. Ha sede a Ginevra e ha come attività principale la pubblicazione di periodici rapporti

### **Microclima**

Insieme delle condizioni di umidità, ventilazione, pressione e temperatura riguardanti un determinato spazio limitato, isolato dall'ambiente che lo circonda.

### **Ondata di calore**

Periodo di tempo di almeno 6-7 giorni consecutivi caratterizzato da temperature solitamente molto superiori alla media di lungo periodo.

### **Proiezione climatica**

Risposta simulata del sistema climatico a uno scenario di concentrazione di gas serra e aerosol ricavata utilizzando i modelli climatici. Le proiezioni climatiche dipendono dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativa utilizzato basato su ipotesi riguardanti futuri sviluppi socio-economici e tecnologici nonché dalle eventuali politiche attuabili per far fronte a tali problematiche.

### **Scenario climatico**

Ipotesi di clima futuro basata su un insieme coerente di relazioni climatologiche al fine di indagare le potenziali conseguenze del cambiamento climatico. Tale scenario viene usualmente utilizzato come input per i modelli di simulazione capaci di valutare differenti tipologie di possibili impatti futuri.

### **Siccità**

Periodo di tempo secco abbastanza prolungato tale da causare problematiche di tipo idrico con ripercussioni su vari settori (ad es. agricoltura).

### **Vapore**

Stato aeriforme di una sostanza a temperatura inferiore alla sua temperatura critica. Il vapore, a differenza del gas, è riducibile allo stato liquido per sola compressione.

### **Variabile**

Tipo o caratteristica di un tempo meteorologico soggetto a sensibili cambiamenti nel corso di un dato intervallo temporale.

### **Variabilità climatica**

Variazioni dello stato medio e degli estremi del clima a tutte le scale spaziali e temporali oltre a quella dei singoli eventi meteorologici.



Consiglio Nazionale delle Ricerche **Istituto di**

## **Biometeorologia**

### **Vulnerabilità**

Propensione o predisposizione ad essere sfavorevolmente influenzato da eventi di vario tipo. La maggiore capacità di adattamento e resilienza di un sistema rispetto ad un altro contribuisce a ridurre il rischio di vulnerabilità di un sistema stesso.

### **Zona Climatologica**

Regione con un proprio caratteristico clima.



## **Bibliografia**

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

ISPRA, 2016. Gli indicatori del clima in Italia nel 2016. Anno XII. ISBN 978-88-448-0838-9

ISPRA, 2017. Stato dell'Ambiente 80/2018 ISBN 978-88-448-0904-1

PNACC, 2017. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM) ai fini dell'Elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC).

Semenov, M.A. & Barrow, E.M. (2002), "LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies", User Manual, Version, 3.0: 28.

Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. & Richardson, C. W. (1998), "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in drivers climates", Climate Research.

SIR: Settore Idrologico Regionale. Report pluviometria città di Livorno.