

Rapporto sull'evoluzione del clima recente e sui potenziali impatti dei cambiamenti climatici per il territorio del Programma

Rapport sur l'évolution du climat récent et sur les impacts potentiels du changement climatique sur le territoire du programme

Prodotto T2.3.1

Progetto Interreg IT-FR

MED-Star

**Strategie e misure per la
mitigazione del rischio di
incendio nell'area Mediterranea**

Aprile 2021

Produit T2.3.1

Projet Interreg IT-FR

MED-Star

**Stratégies et mesures
d'atténuation des risques
d'incendie dans la région
méditerranéenne**

Avril 2021



Sommario

Autori - Auteurs	2
Con la collaborazione di - Avec la collaboration de	2
Introduzione - Introduction	3
Messaggi chiave - Messages clés	6
Il clima recente	8
Sardegna	10
Toscana	11
Liguria	13
Corsica	15
PACA	19
I cambiamenti climatici attesi	22
Sardegna, Toscana, Liguria	24
Corsica e Regione PACA	27
Gli impatti potenziali dei cambiamenti climatici sugli incendi boschivi	35
Riferimenti bibliografici	45
Sitografia	46

Autori - Auteurs

Valentina Bacciu – Fondazione CMCC
Valentina Mereu – Fondazione CMCC
Costantino Sirca - UNISS
Josè Costa Saura - UNISS
Claudio Ribotta - UNISS
Donatella Spano - UNISS

Con la collaborazione di - Avec la collaboration de

Andrea Motroni – ARPA Sardegna
Simone Cristofori – Consorzio LAMMA
Laura Carlon – Région SUD, Direction de l'Agriculture, de la Forêt et de l'Eau
Virginie Tihay-Felicelli – UNICORTE
Antonella Massaiu - ONF



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduzione - Introduction

Gli ultimi rapporti del Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC, 2018, 2014) confermano inequivocabilmente il fenomeno dei cambiamenti climatici in atto. La temperatura media globale osservata è di circa 1°C superiore rispetto ai livelli dell'era preindustriale e gli effetti sono già visibili. La regione Mediterranea, considerata uno degli "hot spot" del cambiamento climatico, ha registrato un riscaldamento che supera del 20% l'incremento medio globale e una riduzione delle precipitazioni in contrasto con l'aumento generale del ciclo idrologico nelle zone temperate comprese tra i 30° N e 46° N di latitudine (Lionello and Scarascia, 2018). In Italia si è osservato un aumento, a livello nazionale, del valore normale della temperatura media di 0.4°C dal 1961-1990 al 1971-2000, di 0.3°C dal 1971-2000 al 1981-2010. La stima aggiornata del rateo di variazione della temperatura media dal 1981 al 2019 è di $+0.38 \pm 0.05^\circ\text{C}/10 \text{ anni}^1$, con otto dei dieci anni più caldi della serie storica registrati dal 2011. Anche in Francia l'evoluzione della temperatura media mostra una tendenza al riscaldamento. Il ritmo di questo aumento accelera in maniera significativa dagli anni '80. La tendenza osservata sul periodo 1959-2009 è di circa 0.3°C per decennio. Sempre in Francia, i tre anni più caldi (2014, 2011 e 2015) sono stati osservati negli ultimi cinque anni².

L'andamento storico delle precipitazioni cumulate dalla metà del secolo scorso mostra invece un'elevata variabilità su scala italiana con una diminuzione più marcata rilevata a

Les derniers rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014, 2018) confirment sans équivoque le phénomène du changement climatique. La température moyenne mondiale observée est d'environ 1 ° C plus élevée que les niveaux de l'ère préindustrielle et les effets sont déjà visibles. La région méditerranéenne, considérée comme l'un des «points chauds» du changement climatique, a enregistré un réchauffement qui dépasse l'augmentation moyenne mondiale de 20% et une réduction des précipitations en contraste avec l'augmentation générale du cycle hydrologique dans les zones tempérées entre Latitude 30° N et 46° N (Lionello et Scarascia, 2018). En Italie, il y a eu augmentation, au niveau national, de la valeur normale de la température moyenne de 0.4°C de 1961-1990 à 1971-2000, de 0.3°C de 1971-2000 à 1981-2010. L'estimation mise à jour du taux moyen de variation de température de 1981 à 2019 est de $+0.38 \pm 0.05^\circ\text{C}/10 \text{ ans}$. Même en France, l'évolution de la température moyenne montre une tendance au réchauffement. Le rythme de cette augmentation s'est considérablement accéléré depuis les années 80. La tendance observée sur la période 1959-2009 est d'environ 0.3°C par décennie. Toujours en France, les trois années les plus chaudes (2014, 2011 et 2015) ont été observées au cours des cinq dernières années.

La tendance historique des précipitations accumulées depuis le milieu du siècle dernier, en revanche, montre une forte

¹ https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/stato-ambiente/rapporto_clima_2019-1.pdf

² <http://www.grec-sud.fr/cahier-thematique/le-cahier-climat/#art-234>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

cavallo tra gli anni 80 e 90. In Francia, a scala nazionale, le precipitazioni annuali non hanno mostrato alcun cambiamento significativo dal 1959. Tuttavia, sono caratterizzate da una netta disparità con un aumento su un'ampia metà dell'area settentrionale (in particolare la zona nord-orientale) e una diminuzione al sud (soprattutto nel sud-est).

I primi decenni del XXI hanno visto alcuni degli eventi di incendi più catastrofici in termini di impatti sulla società. I cambiamenti osservati sull'andamento del regime (Turco et al 2016; Spano et al., 2014) degli incendi sono dovuti principalmente a due fattori: (i) da una parte le condizioni meteo/climatiche in un contesto di riscaldamento globale, e (ii) dall'altra una maggior predisposizione agli incendi del territorio dovuta ai cambiamenti nell'uso e nella copertura del suolo avvenuti durante il XX secolo. Gli eventi meteorologici estremi come i prolungati periodi siccitosi e il susseguirsi di ondate di calore hanno facilitato il verificarsi di incendi con comportamento estremo e mettono a dura prova la capacità dei programmi di protezione dagli incendi boschivi incentrati sulle attività di lotta e spegnimento. La situazione attuale potrà essere ulteriormente inasprita dalle variazioni attese del clima. Infatti, come riporta anche l'IPCC (2019), i cambiamenti climatici "stanno giocando un ruolo sempre maggiore nel determinare i regimi degli incendi insieme con le attività umane". D'altra parte, il livello del rischio dei nuovi regimi di incendio guidati dai cambiamenti globali dipende anche dall'aumento della vulnerabilità della società europea ai disturbi dovuti agli incendi e da come la popolazione, lo sviluppo tecnologico e la gestione del territorio evolveranno.

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle

variabilità à l'échelle italienne avec une diminution plus marquée enregistrée au tournant des années 80 et 90.

En France, à l'échelle nationale, la pluviométrie annuelle n'a pas connu de changement significatif depuis 1959. Cependant, elle se caractérise par une forte disparité avec une augmentation sur une large moitié nord (en particulier le quart nord-est) et une diminution au sud (en particulier en le sud-est).

Les premières décennies du 21e ont vu certains des événements d'incendie les plus catastrophiques en termes d'impact sur la société. Les changements évidents sur l'évolution du régime des feux (Turco et al 2016; Spano et al., 2014) sont principalement dus à deux facteurs: d'une part les conditions météorologiques / climatiques dans un contexte de réchauffement climatique, et les changements d'occupation et d'occupation des sols au cours du XXe siècle. Des événements météorologiques extrêmes tels que des sécheresses prolongées et des vagues de chaleur successives ont facilité la survenue d'incendies de forêt avec un comportement extrême et pèsent sur la capacité des programmes de protection contre les incendies de forêt axés sur les activités de lutte et d'extinction. La situation actuelle pourrait être encore exacerbée par les changements climatiques attendus. En fait, comme le rapporte également le GIEC (2019), le changement climatique "joue un rôle de plus en plus important dans la détermination des régimes d'incendies et des activités humaines". D'autre part, le niveau de risque des nouveaux régimes d'incendie induits par les changements globaux dépend également de l'augmentation de la vulnérabilité de la société européenne aux perturbations dues



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

variazioni del regime degli incendi (in termini di pericolosità, rischio, insorgenza e propagazione) vengono analizzati e valutati attraverso l'integrazione di strumenti modellistici con le proiezioni future derivanti da Modelli di Circolazione Globale e Regionale. Queste informazioni rappresentano la base conoscitiva fondamentale per capire cosa succederà e quali azioni potremmo mettere in atto per mitigare i rischi e adattarci ai cambiamenti climatici. Infatti, la riduzione del rischio e l'aumento della resilienza degli ecosistemi e dei sistemi antropici agli impatti dei cambiamenti climatici sono obiettivi comuni su cui paesi come l'Italia e la Francia si sono impegnati attraverso l'adesione all'Accordo di Parigi e al Quadro di Riferimento di Sendai (UNISDR, 2015).

L'obiettivo di questo rapporto è pertanto fornire una base comune ai territori del programma Interreg relativa all'evoluzione del clima recente e a quali scenari di cambiamento climatico le regioni del programma andranno incontro, per poi delineare come questi cambiamenti potranno incidere potenzialmente sul regime degli incendi. Il rapporto fornisce quindi informazioni propedeutiche per l'attività prevista nell'ambito della componente T3 nella quale sarà possibile evidenziare alcune azioni di adattamento e priorità di intervento per il territorio di programma

aux incendies et de l'évolution de la population, du développement technologique et de la gestion des terres.

Les impacts du changement climatique sur les variations du régime des feux (en termes de danger, de risque, d'occurrence et de propagation) sont analysés et évalués par l'intégration d'outils de modélisation avec des projections futures dérivant des modèles de circulation mondiaux et régionaux. Ces informations représentent la base de connaissances fondamentale pour comprendre ce qui va se passer et quelles actions nous pourrions prendre pour atténuer les risques et nous adapter au changement climatique. En fait, la réduction du risque et l'augmentation de la résilience des écosystèmes et des systèmes anthropiques aux impacts du changement climatique sont des objectifs communs auxquels des pays comme l'Italie et la France se sont engagés en adhérant à l'Accord de Paris et au Cadre de référence de Sendai (UNISDR, 2015).

L'objectif de ce rapport est donc de fournir une base commune aux territoires du programme Interreg concernant l'évolution récente du climat et les scénarios de changement climatique auxquels les régions du programme seront confrontées, puis de décrire comment ces changements pourraient potentiellement affecter le régime des incendies. Le rapport fournit donc des informations préliminaires sur l'activité prévue au sein de la composante T3 dans laquelle il sera possible de mettre en évidence certaines actions d'adaptation et priorités d'intervention.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Messaggi chiave - Messages clés

Aumento delle temperature.

- **Sardegna, Liguria e Toscana** – Gli scenari di emissione evidenziano un incremento della temperatura media distribuita uniformemente su tutto il territorio, fino a 1.5°C nel periodo 2021-2050 (rispetto a 1981-2010) e con lo scenario più ottimista (RCP4.5) e fino a 4.5°C a fine secolo nello scenario più pessimista (RCP8.5).
- **Corsica e PACA** - Aumento della temperatura media estiva tra 0.5 e 2° C entro il 2021-2050 con lo scenario RCP4.5, fino ai 5-6°C a fine secolo con lo scenario RCP8.5

Più giorni caldi e ondate di calore

- **Sardegna, Liguria e Toscana** – Il modello climatico considerato proietta un consistente aumento di giorni con temperatura massima maggiore di 29.2°C per entrambi gli scenari, più marcato per la fine del secolo.
- **Corsica e PACA** – i modelli climatici considerati sono discordanti per il medio periodo, mentre sembrano essere più vicini nel lungo periodo e sotto lo scenario di emissione RCP8.5, proiettando 6-10 giorni di siccità in più rispetto al periodo riferimento

Decremento delle precipitazioni estive

- **Sardegna, Liguria e Toscana** – Diminuzione delle precipitazioni nel periodo estivo in tutto il territorio di programma, tranne per la Sardegna nel medio periodo sotto lo scenario più pessimista (RCP8.5)
- **Corsica e PACA** – Diminuzione delle precipitazioni nel periodo estivo compresa tra 0.25 e 1 mm / giorno per fine secolo sotto lo scenario RCP8.5, meno marcati con lo scenario RCP4.5

Hausse des températures.

- **Sardegna, Liguria et Toscane** - Les scénarios d'émission montrent une augmentation de la température moyenne uniformément répartie sur tout le territoire, jusqu'à 1.5 ° C sur la période 2021-2050 (par rapport à 1981-2010) et avec le scénario le plus optimiste (RCP4.5) et jusqu'à 4.5 ° C à la fin du siècle dans le scénario le plus pessimiste (RCP8.5).
- **Corse et PACA** - Augmentation moyenne de la température estivale entre 0.5 et 2° C d'ici 2021-2050 avec le scénario RCP4.5, jusqu'à 5-6° C à la fin du siècle avec le scénario RCP8.5

Plus de journées chaudes et de vagues de chaleur

- **Sardegna, Liguria et Toscane** - Le modèle climatique considéré projette une augmentation constante du nombre de jours avec une température maximale supérieure à 29.2 ° C pour les deux scénarios, plus marquée à la fin du siècle.
- **Corse et PACA** - les modèles climatiques considérés sont discordants à moyen terme, alors qu'ils semblent plus proches à long terme et dans le scénario d'émission RCP8.5, projetant 6-10 jours de sécheresse de plus que la période de référence

Diminution des précipitations estivales

- **Sardegna, Liguria et Toscane** - Diminution des précipitations en période estivale dans toute la zone du programme, sauf pour la Sardaigne à moyen terme dans le scénario le plus pessimiste (RCP8.5)
- **Corse et PACA** - Diminution des précipitations en période estivale entre 0.25 et 1 mm / jour pour la fin du siècle



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

Impatti sugli incendi boschivi

Sono attesi incrementi della pericolosità di incendio sotto lo scenario RCP8.5 e sul lungo periodo (2079-2098), così come un aumento del numero di giorni per stagione degli incendi con pericolosità molto alta, specialmente per Sardegna (+28 giorni rispetto al periodo storico), seguita dalla regione PACA (+20) e dalla Toscana (+18). Tali incrementi si potranno tradurre in un aumento delle superfici percorse, che arrivano fino al 100%, considerando uno scenario di riscaldamento a 3°C.

dans le scénario RCP8.5, moins marquée avec le scénario RCP4.5

Impacts sur les incendies de forêt

Des augmentations du risque d'incendie sont attendues dans le scénario RCP8.5 et à long terme (2079-2098), ainsi qu'une augmentation du nombre de jours par saison d'incendies à très haut risque, en particulier pour la Sardaigne (+28 jours par rapport à l'historique), suivie de la région PACA (+20) et de la Toscane (+18). Ces augmentations pourraient se traduire par une augmentation des surfaces parcourues, qui atteignent jusqu'à 100%, en considérant un scénario de chauffage à 3°C.

Il clima recente

L'obiettivo del presente capitolo è quello di presentare la variabilità climatica osservata a livello locale per i territori del programma Interreg Marittimo Italia Francia, ovvero Sardegna, Toscana, Liguria, Corsica e PACA (Provenza-Alpi-Costa Azzurra).

L'analisi è stata effettuata attraverso uno *screening* bibliografico volto a valutare la disponibilità di informazioni e dati relativi ad indicatori climatici rilevanti per lo studio dell'occorrenza e del comportamento degli incendi boschivi.

La Tabella 1 riporta i documenti che sono stati raccolti e analizzati e i periodi utilizzati per l'analisi³.

Per quanto riguarda la Sardegna, sono stati analizzati in primo luogo i risultati preliminari dell'elaborazione della climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010. Il rapporto descrive l'attività di raccolta, controllo e l'integrazione delle serie di dati storici di temperatura e precipitazione, provenienti da due database. L'analisi svolta nel 2019 ha portato alla produzione di un set preliminare di indicatori climatici. In secondo luogo sono state raccolte le informazioni presenti nella Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Il rapporto pubblicato nel 2012 "Clima che cambia – uno sguardo sulla Toscana", nato con l'intento di raccogliere e sintetizzare le principali tendenze climatiche in atto negli ultimi decenni (1991-2008 rispetto al periodo 1961-1990), è stato invece utilizzato per la regione Toscana.

Per quanto attiene la regione Liguria, la fonte dei dati selezionata è rappresentata dall'Atlante Climatico, un documento che ha inteso selezionare, completare e aggiornare le serie storiche ufficiali di precipitazione e temperatura rappresentative della climatologia ligure e ricavare da queste indicazioni sull'andamento climatico per il periodo 1961-2010 oggetto di studio, nonché sui tre trentenni 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, sia a livello areale che di singolo sito.

Per quanto riguarda invece la sponda francese del territorio di programma, ossia regione Corsica e regione PACA (Provenza-Alpi-Costa Azzurra), le informazioni sono state raccolte nel sito www.meteofrance.fr.

Gli indicatori selezionati, alcuni specificamente utilizzati per l'analisi dei cosiddetti "eventi estremi", sono relativi alle variabili precipitazione e temperatura (Tabella 2 e Tabella 3), e sono analizzati per effettuare studi di settore volti anche valutare i principali impatti locali del cambiamento climatico.

³ Il WMO definisce come "normali climatici standard" le medie di una variabile climatica calcolate per i seguenti periodi consecutivi di 30 anni. Per gli anni in corso il 1981-2010 rappresenta quindi il periodo base fino al 2021, quando il 1991-2020 sarà il nuovo periodo di riferimento. Benché il periodo 1961-1990 abbia perso di validità come base per la valutazione delle condizioni climatiche nel prossimo futuro, tale periodo è stato utilizzato in mancanza di informazioni più recenti

Tabella 1 – Documenti raccolti per lo sviluppo del presente capitolo

Regione	Documenti raccolti	Periodo analizzato
SARDEGNA	2020. Elaborazione della climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010 (http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/miscellanea/ReportClima1981-2010.pdf) 2019. Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (https://delibere.regione.sardegna.it/protected/45525/0/def/ref/DBR45368/)	1981-2010
TOSCANA	2012. Clima che cambia – Uno sguardo sulla Toscana (https://www.researchgate.net/publication/264539774_Clima_che_cambia_-_Uno_sguardo_sulla_Toscana) 2010 Programma di Azione Locale di lotta alla siccità e alla desertificazione. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/desertificazione/Relazione_finale_PAL_Toscana_x2x.pdf	1991-2008 rispetto al periodo 1961-1990
LIGURIA	Atlante Climatico della Liguria	1961-2010 e 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010
CORSICA	www.meteofrance.fr	1959-2018 rispetto al periodo 1961-1990
PACA	www.meteofrance.fr	1959-2018 rispetto al periodo 1961-1990

Tabella 2 – Indicatori considerati

INDICATORE	DESCRIZIONE
TG	Temperatura media giornaliera (°C)
TX	Temperatura massima giornaliera (°C)
TN	Temperatura minima giornaliera (°C)
PRCPTOT	Precipitazione cumulata annua (mm)
PRCPTOT JJA	Precipitazione cumulata (mm) sui mesi di Giugno, Luglio e Agosto
CDD	Consecutive Dry Days. Numero annuo massimo di giorni consecutivi con precipitazione <1 mm
SU95P	SUMmer days. Numero di giorni annui con TX>29.2°C
HW	Heat Waves. Numero di giorni annui con TX>35°C
DRY SPELLS	Numero annuo di giorni con precipitazione <1 mm

Tabella 3 – Riepilogo degli indicatori disponibili per il territorio di programma

INDICATORI	TG	TX	TN	SU	HW	PRCPTOT	PRCPTOT JJA	CDD
REGIONE								
SARDEGNA	X	X	X	X		X	X	X
TOSCANA	X	X	X	X		X		
LIGURIA	X	X	X			X	X	X
CORSICA	X	X	X	X	X	X	X	
PACA	X	X	X	X	X	X	X	



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Sardegna

Gli indicatori relativi alle variabili di temperatura e precipitazione sono stati reperiti grazie al documento "Elaborazione della climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010". Il lavoro, svolto dal Dipartimento Meteorologico di ARPAS e il Settore di Climatologia Operativa di ISPRA, ha riguardato l'aggiornamento della climatologia della Sardegna per il trentennio 1981-2010, attraverso l'esecuzione di una serie di procedure di controllo e di elaborazione delle serie di dati storici di temperatura e precipitazione. Il primo passo ha riguardato un approfondito controllo di qualità e un'accurata analisi dell'omogeneità delle serie con l'obiettivo di massimizzare il numero di stazioni disponibili; il secondo passo ha previsto il calcolo dei valori climatologici mensili e annuali sia per le temperature che per le precipitazioni, seguendo le linee guida stabilite dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO).

In termini di temperatura (Figura 1), si osserva una temperatura minima media che, nel periodo 1981-2010, varia tra 6.7°C e 14.8 °C durante l'anno e una temperatura massima media che varia tra 16.8 °C e 23.8°C. In termini di precipitazione invece si osserva una precipitazione annuale media che varia tra 400 mm e 1200 mm (Figura 2). Sono evidenti quattro zone piovose: le aree a ridosso del Gennargentu (Barbagie, Ogliastra e zone limitrofe), la parte centrale della Gallura (a ridosso del Limbara), l'altopiano di Campeda, e la fascia centrale del Nord-Sardegna (attorno al bacino del Coghinas). La Nurra, il Campidano e l'Iglesiente si presentano come zone secche.

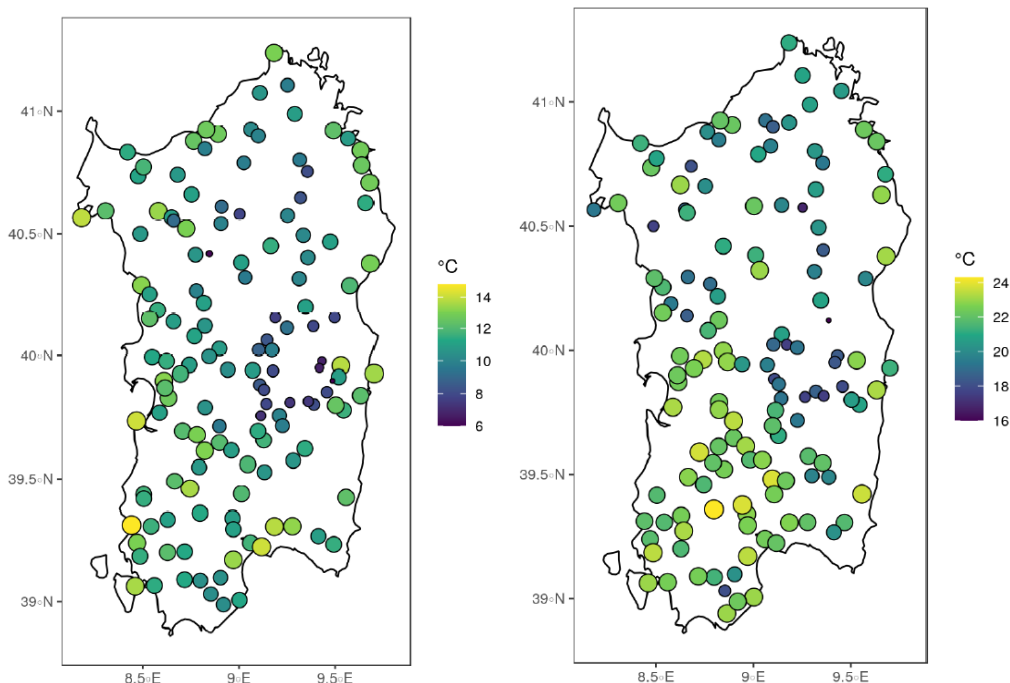


Figura 1 - Valori climatologici annuali di temperatura minima (TN, a sinistra) e massima (TX, a destra) per il trentennio 1981-2010. Fonte: http://www.sardegnaambiente.it/documenti/21_393_20200204130013.pdf

Per quanto riguarda gli indicatori estremi selezionati (Tabella 1), questi sono stati reperiti nell'ambito della Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, che riporta i



Interreg



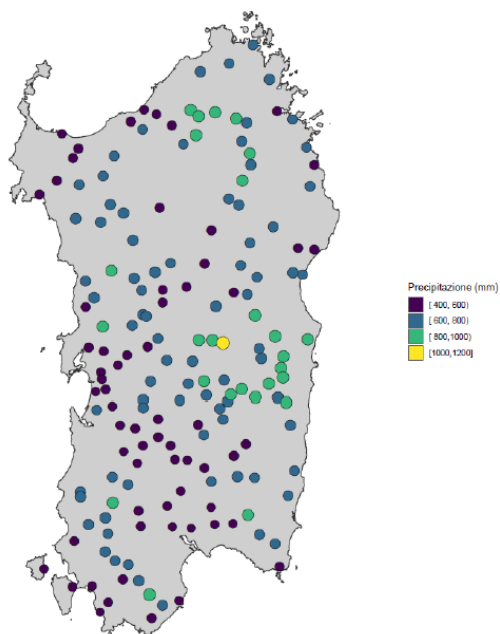
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star



dati resi disponibili dal Servizio Idrografico Regionale e un'analisi effettuata con il dataset di osservazione E-OBS sul periodo climatico di riferimento 1981-2010 dalla Fondazione CMCC.

Secondo il primo insieme di dati, la Sardegna è caratterizzata da un numero massimo medio di giorni consecutivi con precipitazione minore di 1 millimetro che varia tra 47 e 100 (valori più elevati nella zona sud della Sardegna; in particolare, i picchi riguardano la zona costiera sud occidentale).

Passando al secondo dataset, si osserva che la temperatura media annuale (Tmean) “varia tra 13 °C e 17 °C, con picchi di 17 °C presenti soprattutto a sud e sulla costa nord-est della Sardegna. Inoltre, la regione Sardegna è caratterizzata da un numero medio di giorni

all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 30.1 °C (SU95p) che varia tra 5 e 55, con picchi di circa 55 giorni/anno a sud. In termini di precipitazione, la regione Sardegna risulta caratterizzata da un numero massimo di giorni annui consecutivi senza precipitazione (CDD) che varia da circa 60 a 80, in generale accordo con quanto riportato dai dati regionali” (SRACC, 2018).

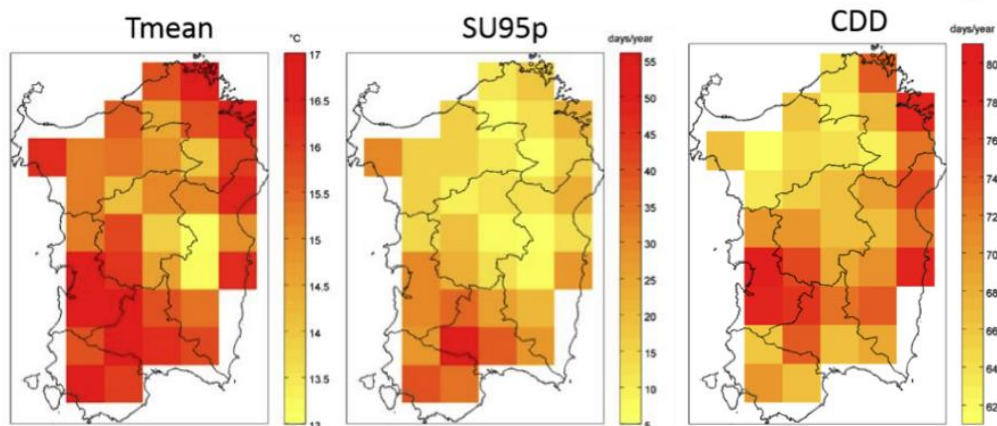


Figura 3 - Mappe degli indicatori di temperatura Tmean, SU95p e CDD (E-OBS, 1981-2010). Fonte: <https://delibere.regione.sardegna.it/protected/45525/0/def/ref/DBR45368/>

Toscana

Gli indicatori relativi alle variabili di temperatura e precipitazione sono stati reperiti nel sito del LAMMA e grazie al documento “Clima che cambia – Uno sguardo sulla Toscana”, pubblicato nel 2012.

In Tabella 4 sono riportati i range dei valori medi annui di temperatura (media, minima e massima) e di precipitazione sull'intero periodo di osservazione 1981-2010 per le stazioni

rappresentative delle cinque province costiere della regione Toscana che rientrano nel territorio di programma. In termini di temperatura, si osserva una temperatura minima media che varia tra 9.4 °C e 12.7 °C durante l'anno e una temperatura massima media che varia tra 19.5 °C e 21.0 °C. In termini di precipitazione invece si osserva una precipitazione annuale media che varia tra 560 mm di Grosseto e 1172 mm di Lucca.

Tabella 4– Temperatura media (TG), minima (TN) e massima (TX) e precipitazione totale (PRCPTOT) per il periodo 1981-2010 per le stazioni rappresentative toscane. Fonte: <http://www.lamma.rete.toscana.it/clima-e-energia/climatologia>

Provincia	TG	TX	TN	PRCPTOT
Grosseto	14,7	21,0	9,4	650
Livorno	16,1	19,5	12,7	804
Lucca	15,2	20,4	10,0	1172
Massa	16,0	20,6	11,4	1151
Pisa	15,3	20,0	9,6	866

Uno studio del LaMMA (2010) ha messo a confronto i dati spazializzati sul territorio regionale della temperatura media annuale relativi agli ultimi 18 anni, vale a dire il periodo 1991-2008, con le mappe del trentennio di riferimento climatologico '61-'90. Da tale analisi emerge un aumento medio della temperatura annua di +0.5 °C. L'anomalia di temperatura, riscontrabile in tutto il territorio toscano, risulta maggiore con aumenti superiori alla media nelle aree della Garfagnana e la Lunigiana (province di Massa e Lucca) (Figura 4). L'aumento medio annuo della temperatura è stato di 0.5°C. Considerando le singole stagioni, i dati rilevano che la tendenza all'aumento delle temperature è evidente in primavera (+ 0.6°C), in estate (+ 0.9°C) e, in maniera più lieve, in inverno (+ 0.3°C), soprattutto a causa del maggior riscaldamento nella parte nord occidentale della regione. In Autunno, invece, non si notano variazioni significative.

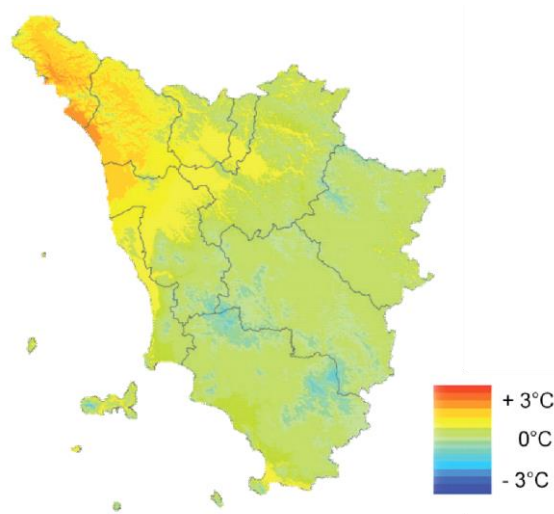


Figura 1 - Mappa delle variazioni di temperatura media annua (°C) del periodo 1991-2008, rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. Fonte: LaMMA, 2010



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, i dati mostrano un trend negativo diffuso (Figura 5), con valori medi regionali di -12%. A livello annuale, le differenze maggiori fra il periodo 1991- 2008 rispetto al periodo di riferimento '61-'90, si riscontrano in Garfagnana.

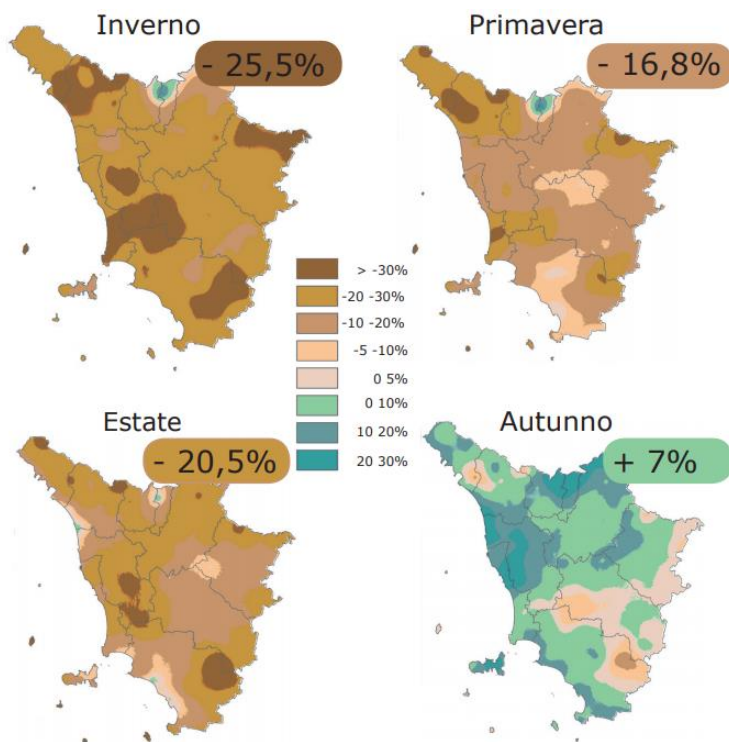


Figura 2 - Mappe delle anomalie di precipitazione stagionale (mm) del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. Fonte: LaMMA, 2010

Liguria

Il lavoro riportato nel documento “Atlante climatico della Liguria” è stato svolto dall’ARPAL, presso il Centro funzionale meteo-idrologico di protezione civile, nell’ambito del progetto Res-Mar⁴. I valori di temperatura e precipitazione sono stati analizzati sull’intera serie storica 1961-2010, nonché sui tre trentenni 1961- 1990, 1971-2000, 1981-2010 e sul ventennio 1991-2010. Per quanto riguarda le temperature (Figura 6) si può osservare come il ponente risulti più mite rispetto al levante sia a livello di campi medi sia a livello di campi estremi. Confrontando il trentennio 1981-2010 con il 1961-1990 è stato possibile riscontrare prevalenti aumenti delle temperature sia nei campi medi sia nei campi estremi. Va tuttavia tenuto presente che il numero di stazioni a disposizione per l’analisi è limitato.

Analizzando i campi di precipitazione, il levante della regione risulta molto più piovoso del ponente (Figura 7). Questa caratteristica si rileva non solo a livello di precipitazioni cumulate, ma anche in termini di un minor numero di giorni secchi consecutivi. Confrontando il trentennio 1981- 2010 con il 1961-1990 si osserva una

⁴ Réseau pour l’environnement dans l’espace Maritime”, Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia “Marittimo” 2007- 2013



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

diminuzione generalizzata delle precipitazioni annuali cumulate medie nonché delle cumulate estive (Figura 8).

Lo studio prosegue con la presentazione di grafici e tabelle a livello puntuale per le singole stazioni termometriche e pluviometriche (esempio in Figura 9), e lo studio dei trend dei dati di temperatura e precipitazione con la stima della significatività della differenza tra i valori medi annuali e stagionali relativi all'ultimo ventennio rispetto al primo trentennio.

L'aumento delle temperature minime e massime è significativamente positivo soprattutto per quanto riguarda i periodi primaverili ed estivi. In particolare, le temperature minime sono aumentate significativamente nel 70% dei casi a livello annuale, nel 48% dei casi in primavera. Le temperature massime a loro volta sono aumentate significativamente nel 55% dei casi a livello annuale, nel 67% dei casi in primavera e nel 64% dei casi in estate.

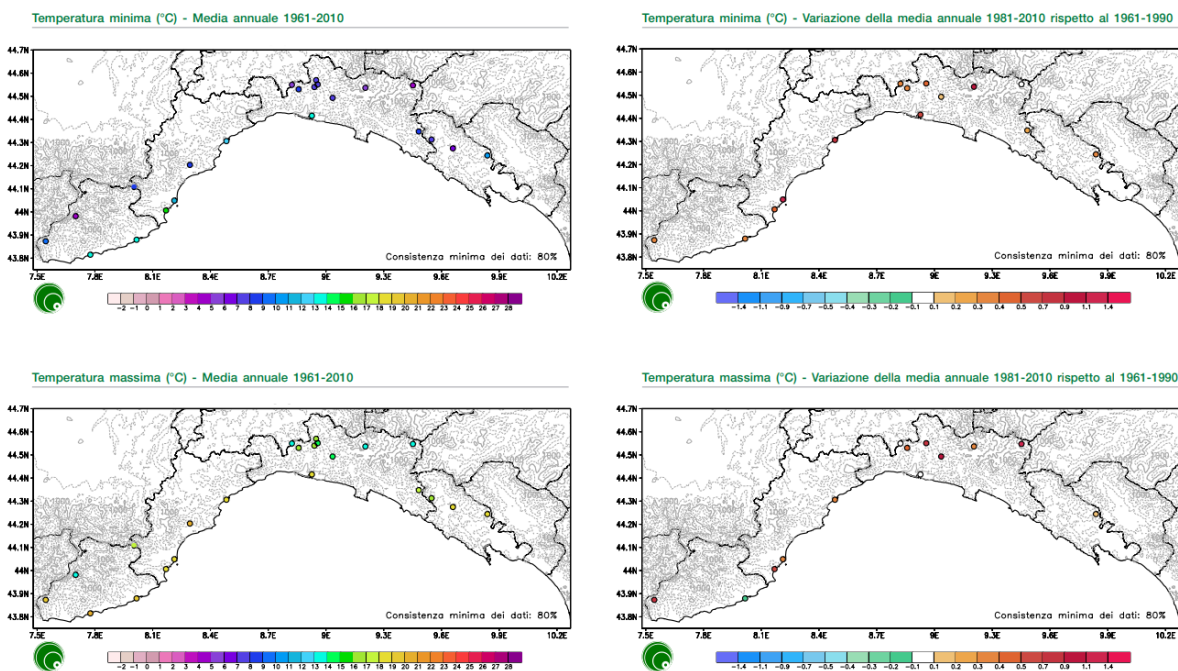
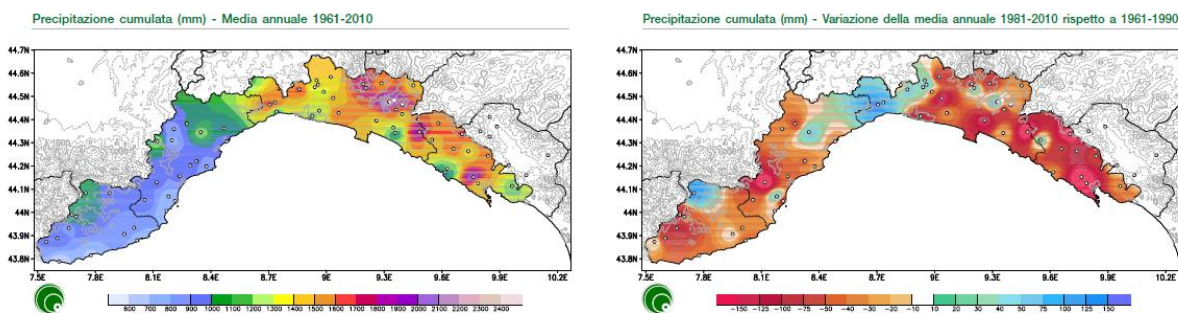


Figura 6 – Media annuale delle temperature minime e massime per il periodo 1961-2010 (a sinistra) e anomalie media annuale delle temperature minime e massime per il periodo 1981-2010 rispetto a 1961-1990 (a destra). https://www.arpa.liguria.it/contenuti_statici/clima/atlante/Atlante_climatico_della_Liguria.pdf





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

Figura 7 – Media annuale delle precipitazioni cumulate per il periodo 1961-2010 (a sinistra) e anomalie media annuale delle precipitazioni cumulate per il periodo 1981-2010 rispetto a 1961-1990 (a destra). Fonte: https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/clima/atlante/Atlante_climatico_della_Liguria.pdf

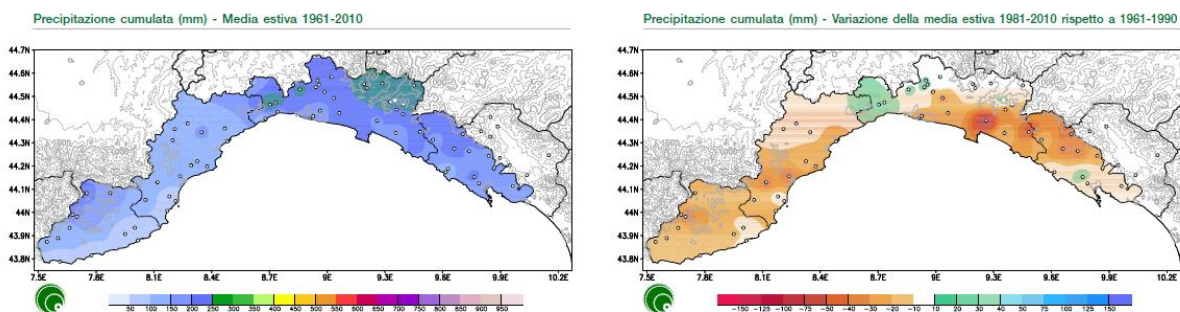


Figura 8 – Media estiva delle precipitazioni cumulate per il periodo 1961-2010 (a sinistra) e anomalie media estiva delle precipitazioni cumulate per il periodo 1981-2010 rispetto a 1961-1990 (a destra). Fonte: https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/clima/atlante/Atlante_climatico_della_Liguria.pdf

Temperature annuali

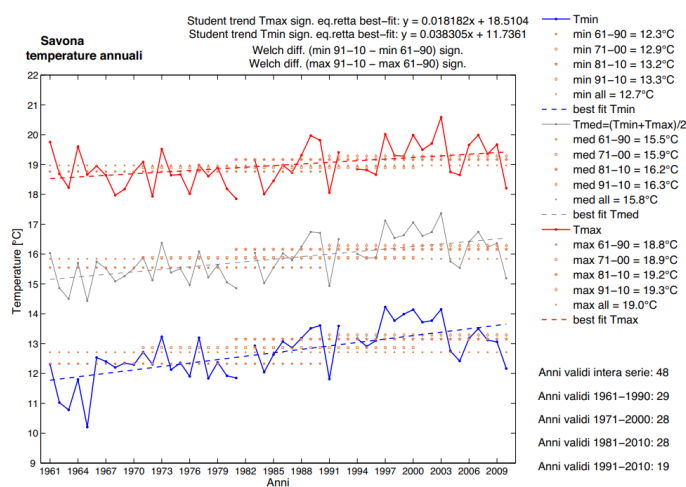


Figura 9 – Trend dei dati di temperatura minima, media e massima per il periodo 1961-2010 per la stazione di Savona. Fonte: https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/clima/atlante/Atlante_climatico_della_Liguria.pdf

Corsica

Nel 2014, Météo-France ha rilasciato un nuovo set di dati di serie mensili omogenee di temperatura che forniscono la copertura di tutto il territorio nazionale, consentendo così una robusta stima dell'evoluzione della temperatura dagli anni '50 alla fine anni 2000 (Gibelin et al., 2014). Il trattamento statistico che è stato applicato da Météo-France alle serie storiche consiste nel rilevare e correggere le interruzioni nella serie di dati grezza, al fine di produrre serie di riferimento adatte a quantificare il cambiamento climatico. Su tutto il territorio francese si registrano quindi 228 serie di temperature minime mensili e 251 serie di temperature massime mensili omogenee. Per ogni regione amministrativa sono state selezionate un massimo di 4 serie omogenee, in base alla qualità e alla rappresentatività dei dati.

Nei grafici che seguiranno, pertanto, le serie omogenee abbracciano il periodo 1959-2009 e sono state poi estese alla data più recente rappresentata da un colore più chiaro. Una fascia grigia evidenzia qualora le serie inizino dopo il 1959, la linea continua marrone rappresenta invece la media mobile su 11 anni.

L'evoluzione delle temperature medie annuali in Corsica mostra un netto riscaldamento dal 1959. Nel periodo 1959-2009, la tendenza osservata delle temperature medie è di $+ 0.2^{\circ}\text{C}$ per decennio. I tre anni più caldi dal 1959 in Corsica, 2015, 2016 e 2018, sono stati osservati nel 21° secolo (Figura 10). L'andamento osservato delle temperature medie stagionali per la stazione di Bastia e per la stazione di Ajaccio mostra un incremento di circa $+ 0.2^{\circ}\text{C}$ per decennio per il periodo primaverile e autunnale, $+ 0.3^{\circ}\text{C}$ per decennio per il periodo estivo e $+ 0.1^{\circ}\text{C}$ per decennio per quello invernale (dati non mostrati). Nel primo ventennio del XXI secolo sono stati registrati dal 1959 i due inverni più miti, 2006/2007 e 2015/2016, e le tre estati più calde, 2003, 2015 e 2017, oltre che i due autunni più caldi, 2014 e 2018.

Le precipitazioni annuali sono leggermente diminuite dal 1959. Il periodo non mostra però una chiara tendenza ma è caratterizzato da una grande variabilità di anno in anno (Figura 11). Infine, il numero annuo di giornate calde (temperature massime superiori ai 25°C) varia notevolmente di anno in anno, ma anche in base alla posizione geografica. Nel periodo 1959-2009, si osserva un aumento del numero di giorni caldi, compreso tra 5 e 6 giorni per decennio (Figura 13). Il 2009, 2011, 2014 e 2015 compaiono ai primi posti fra gli anni che hanno vissuto il maggior numero di giornate calde.

Le ondate di calore registrate dal 1947 in Corsica sono state praticamente tutte osservate negli ultimi decenni, un solo evento è stato identificato prima del 1983. L'ondata di caldo osservata dal 2 al 25 agosto 2003 è di gran lunga la più lunga e grave che si sia verificata nella regione. Ma il giorno più caldo dal 1947 è stato osservato durante l'ondata di calore verificatasi fra il 30 luglio e il 9 agosto 2017 (Figura 14).

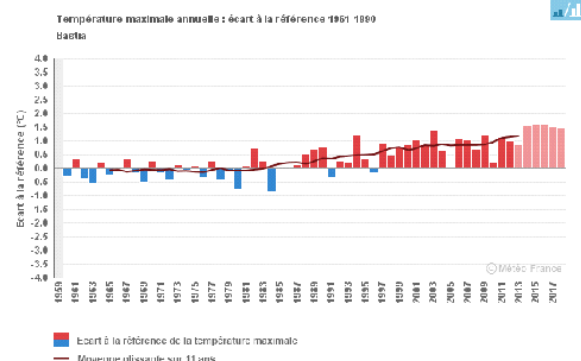
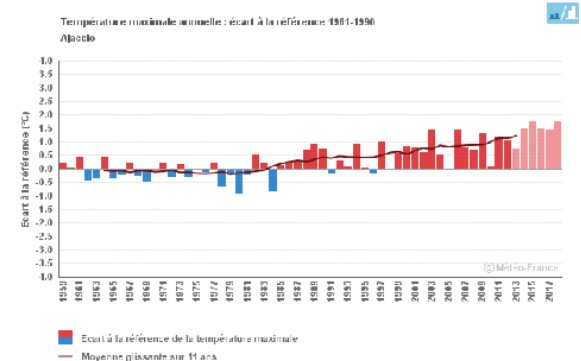
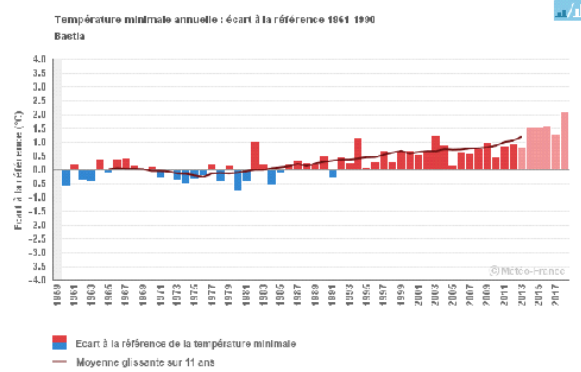
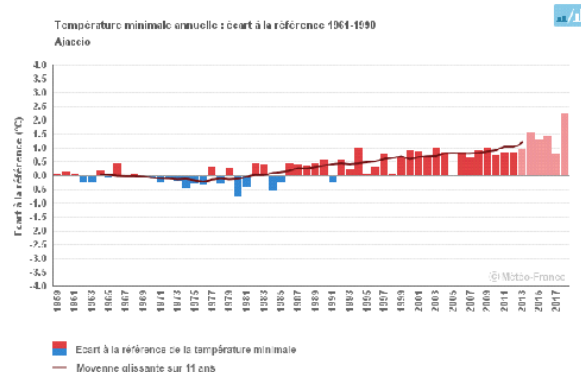
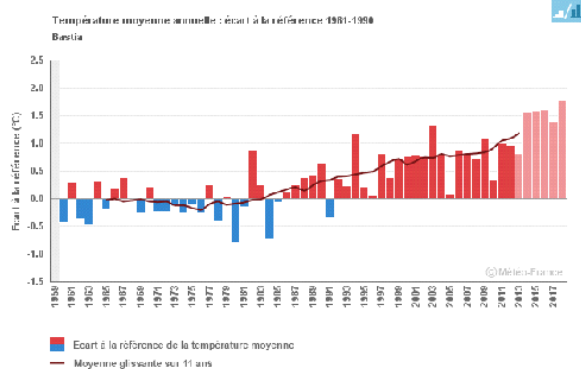
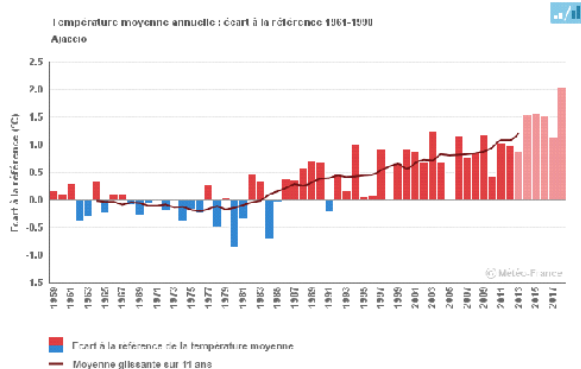


Figura 10 – Anomalie delle temperature medie, minime e massime annuali per il periodo 1959-2018 rispetto a periodo 1961-1990 registrate nelle stazioni di Ajaccio (a sinistra) e Bastia (a destra). La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MétéoFrance



Interreg



UNIONE EUROPEA



MED-Star

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

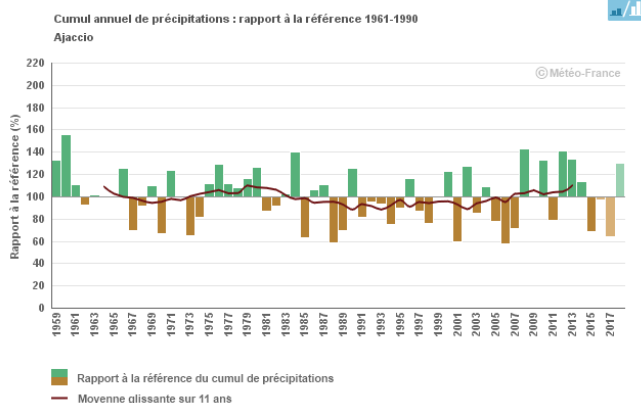


Figura 11 - Anomalia delle precipitazioni annuali per il periodo 1959-2018 rispetto a 1961-1990, Ajaccio. La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MeteoFrance

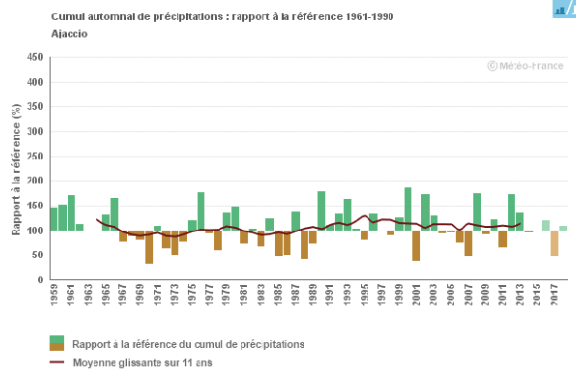
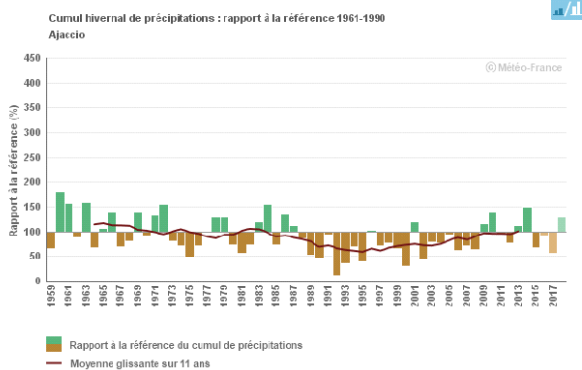
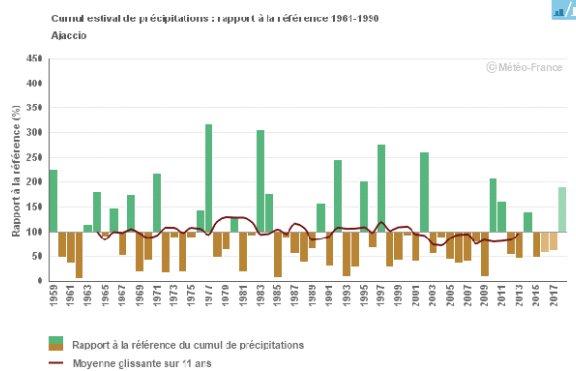
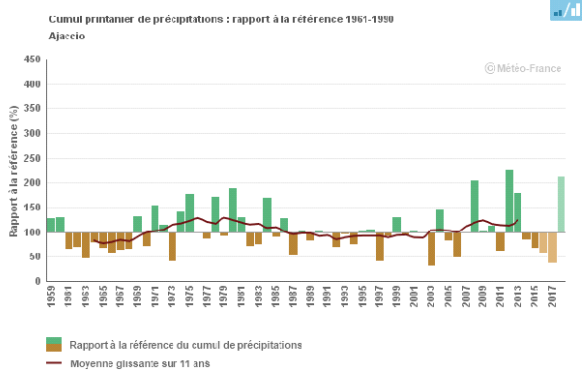


Figura 12 – Anomalia delle precipitazioni stagionali per il periodo 1959-2018 rispetto a 1961-1990, Ajaccio. La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MeteoFrance



Interreg



UNIONE EUROPEA



MED-Star

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

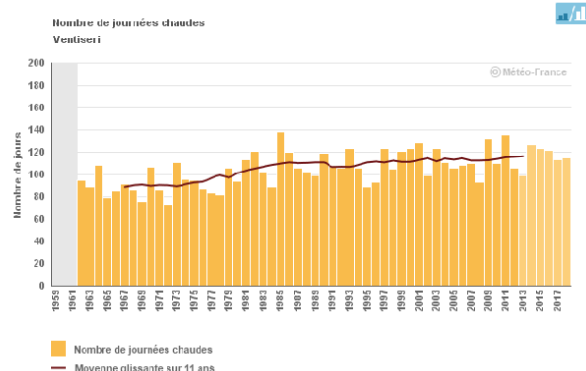
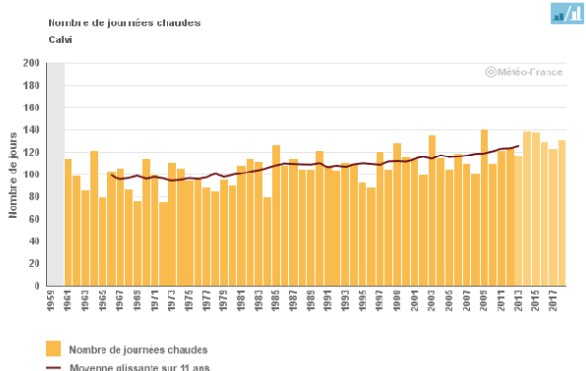
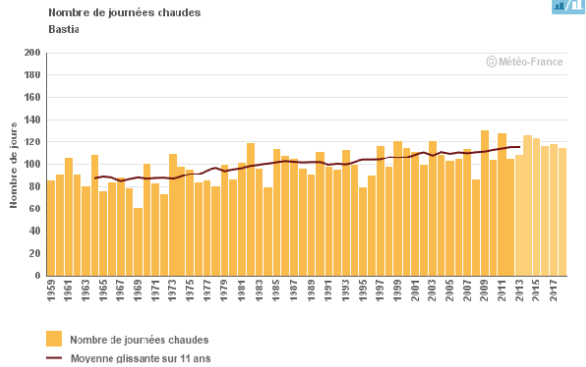
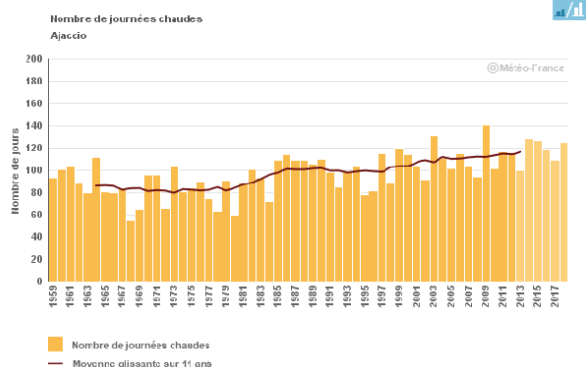


Figura 13 – Numero delle giornate calde per il periodo 1959-2018 per le stazioni di Ajaccio, Bastia, Calvi e Ventiseri. La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MétéoFrance

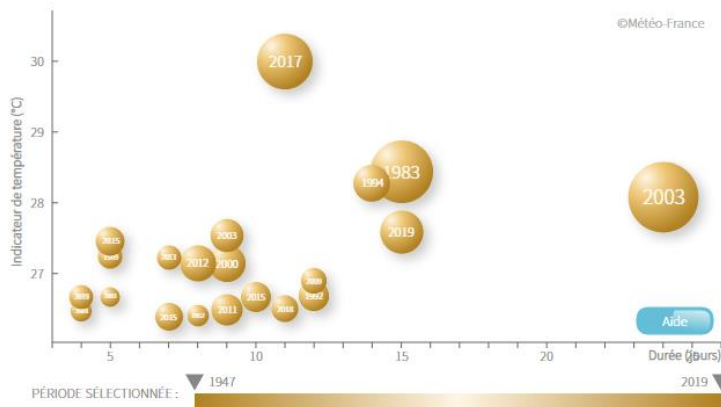


Figura 14 – Ondate di calore per il periodo 1947-2019 in Corsica. Fonte: MétéoFrance

PACA

Il dataset utilizzato per la descrizione del clima recente nell'area Provenza-Alpi-Costa Azzurra è il medesimo della Corsica. Nella regione PACA, l'evoluzione delle temperature medie annuali mostra un forte riscaldamento dal 1959. Nel periodo 1959-2009, la tendenza osservata nelle temperature medie annuali è di +0.3° C per decennio. La tendenza osservata per le temperature minime annuali e temperature massime annuali è compresa, rispettivamente, tra +0.2° C e +0.3° C e +0.3° C e +0.4° C per decennio. Così come per la Corsica, i due anni più

caldi in termini di temperature medie dal 1959 in Provenza-Alpi-Costa Azzurra sono stati osservati nel XXI secolo, nel 2015 e nel 2018. Mentre per quanto riguarda le temperature massime, i quattro anni più caldi dal 1959 sono stati osservati nel 2011, 2015, 2017 e 2018.



Figura 15 – Anomalia delle temperature medie, minime e massime annuali per il periodo 1959-2018 rispetto a periodo 1961-1990 registrate nelle stazioni di Nizza (a sinistra) e Marsiglia-Marignane (a destra). La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MétéoFrance

L'evoluzione delle temperature medie in inverno in Provenza-Alpi-Costa Azzurra mostra un riscaldamento dagli anni 1959. Nel periodo 1959-2009, la tendenza osservata nelle temperature medie invernali è prossima a $+0.2^{\circ}\text{C}$ per decennio, simile a quella autunnale. Nello stesso periodo, la tendenza osservata nelle temperature medie primaverili è di $+0.3^{\circ}\text{C}$ mentre per le temperature medie estive il range è compreso tra $+0.4^{\circ}\text{C}$ e $+0.5^{\circ}\text{C}$ per decennio (dati non mostrati). I tre inverni più miti dal 1959 sono stati osservati nel 1989/1990, 2006/2007 e 2015/2016 mentre il più freddo è stato osservato nel 1962/63. D'altro canto, le quattro estati più calde sono state registrate nel 2003, 2015, 2017 e 2018.



Per quanto riguarda le precipitazioni, quelle annuali hanno evidenziato una diminuzione degli accumuli dal 1959 e sono inoltre caratterizzate da una grande variabilità da un anno all'altro (Figura 16). La diminuzione registrata a livello annuale è evidente anche nel periodo estivo, mentre la tendenza primaverile è meno marcata e quella autunnale non mostra variazioni significative. Il sito MeteoFrance mette in evidenza non solo la grande variabilità annuale ma anche le disparità regionali; in particolare, le precipitazioni autunnali primaverili sono infatti più marcate nell'est della regione.

Il numero annuale delle giornate calde è piuttosto variabile da un anno all'altro e da una zona all'altra della regione PACA (Figura 17). Infatti le giornate calde sono più frequenti man mano che ci si allontana dalle aree montane e dal mare. Nel periodo 1959-2009 è stato osservato un aumento del numero di giorni caldi da 6 a 7 per decennio. Gli anni 2003, 2009, 2011 e 2018 sono gli anni che hanno presentato il maggior numero di giorni caldi.

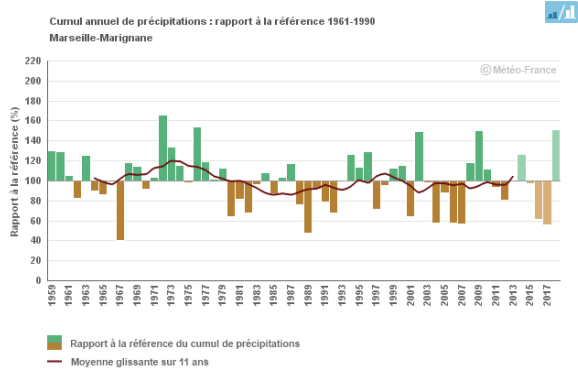
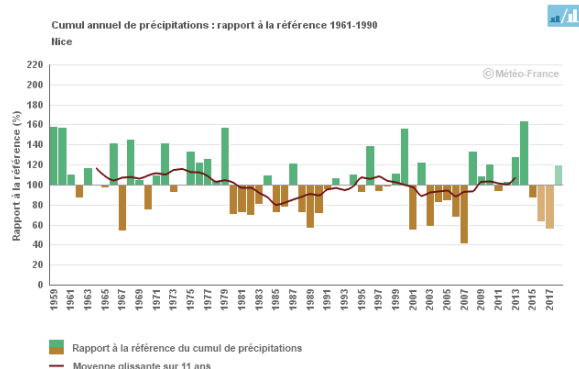


Figura 16 - Anomalia delle precipitazioni annuali per il periodo 1959-2018 rispetto a 1961-1990, Nizza (a sinistra) e Marsiglia (a destra). La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MeteoFrance

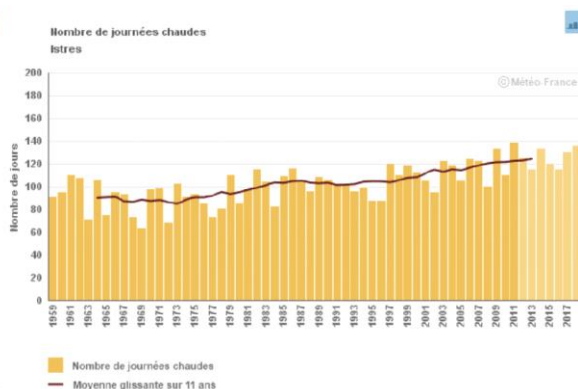
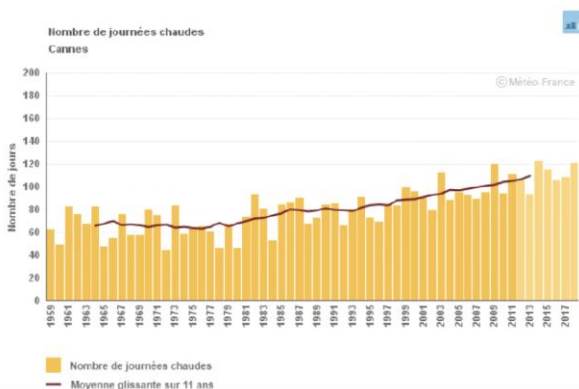


Figura 17 - Numero delle giornate calde per il periodo 1959-2018 per le stazioni di Cannes e Istres. La linea marrone rappresenta la media mobile su 11 anni. Fonte: MeteoFrance

Le ondate di calore registrate dal 1947 sono state sensibilmente più numerose negli ultimi decenni, e questa evoluzione è stata accompagnata anche da un'estensione della durata degli eventi (Figura 18). Le otto ondate di calore più lunghe si sono verificate dopo il 1983. La più



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

severa è stata nel 2003, dal 2 al 24 di agosto. La giornata più calda dal 1947 è stata invece registrata durante l'episodio verificatosi dal 25 giugno all'8 luglio 2019.

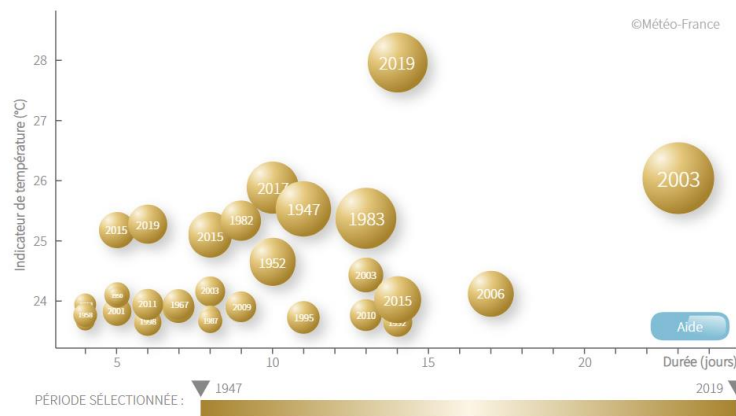


Figura 18 – Ondate di calore per il periodo 1959-2018 nella regione PACA. Fonte: MétéoFrance

I cambiamenti climatici attesi

I cambiamenti climatici attesi sono “generalmente valutati come differenza, per la variabile o indice di interesse, tra l’andamento simulato per il periodo futuro di interesse (valutato sulla base di proiezioni climatiche) e l’andamento simulato su un periodo di riferimento, ovvero su un periodo attuale o del recente passato” (Spano et al., 2020).

La descrizione del clima che ci si attende per il futuro in una determinata area geografica (proiezioni climatiche) viene ottenuta attraverso l’utilizzo di modelli climatici. Tali modelli si basano sull’assunto che l’evoluzione in atmosfera delle concentrazioni di gas climalteranti incida sulle condizioni climatiche future. A loro volta, le concentrazioni di gas climalteranti dipendono dall’attuazione o meno di politiche di mitigazione di tali gas.

Nell’ambito del Quinto Rapporto di Valutazione sui Cambiamenti Climatici (AR5) pubblicato dall’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), le simulazioni climatiche ad alta risoluzione sono riferite a quattro diversi scenari di concentrazione dei gas serra, aerosol e gas chimicamente attivi (Moss et al., 2010), che vengono denominati RCP ovvero Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (*Representative Concentration Pathways*).

Ad ogni RCP è associato un numero che si riferisce al Forzante Radiativo (Radiative Forcing - RF) espresso in unità di Watt per metro quadrato (W/m^2) ed indica l’entità dei cambiamenti climatici antropogenici entro il 2100 rispetto al periodo preindustriale. Il termine **rappresentativo** indica che ogni RCP fornisce solo uno dei tanti possibili scenari che porterebbero alle specifiche caratteristiche di forzante radiativa. Il termine **percorso** sottolinea invece che non solo i livelli di concentrazione a lungo termine sono di interesse, ma anche la traiettoria presa nel tempo per raggiungere quel risultato (Moss et al., 2010).



In particolare, i quattro RCP prodotti da modelli di valutazione integrata e utilizzati nel AR5 come base per le previsioni e le proiezioni climatiche sono:

- RCP2.6: un percorso in cui la forzante radiativa raggiunge il picco a circa 3 W m^{-2} prima del 2100. Le emissioni sono dimezzate entro il 2050. Lo scenario infatti assume delle strategie di mitigazione aggressive; è improbabile che si superino i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali.
- RCP4.5 e RCP6.0: due percorsi di stabilizzazione intermedi in cui il forzante radiativo è stabilizzato a circa 4.5 W m^{-2} e 6.0 W m^{-2} dopo il 2100;
- RCP8.5: un percorso per il quale si prevede una crescita delle emissioni ai ritmi attuali e una forzante radiativa che raggiunge più di 8.5 W m^{-2} entro il 2100. Tale scenario assume, entro il 2100, concentrazioni atmosferiche di CO_2 triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm).

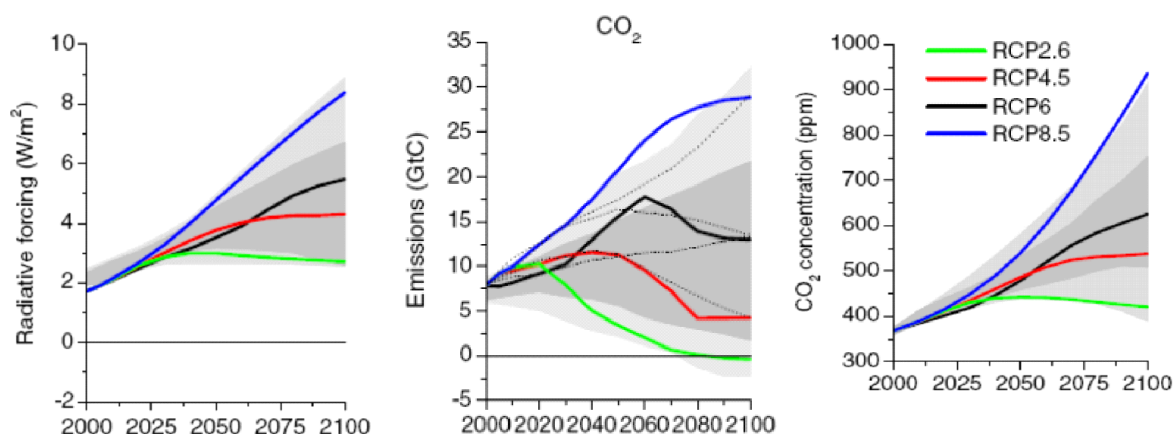


Figura 19 – Trend della forzante radiativa (a sinistra), emissioni di CO_2 per i quattro RCP (al centro), trend della concentrazione di CO_2 (a destra). L'area in grigio indica il 98° e il 90° percentile (rispettivamente grigio chiaro e grigio scuro (modificato da van Vuren, 2011)

Tabella 5 – Forzante radiativo, CO_2 emessa (in ppm) e anomalia della temperatura dei 4 scenari RCP e confronto con gli scenari SRAS basati sull'anomalia della temperatura (Moss et al. 2010)

Nome	Forzante radiativo	CO_2 equiv (ppm)	Anomalia T ($^\circ\text{C}$)	Percorso	Equivalente SRES
RCP2.6	3 W m^{-2} before 2100, declining to 2.6 W m^{-2} by 2100	490	1.5	Peak and decline	Nessuno
RCP4.5	4.5 W m^{-2} post 2100	650	2.4	Stabilization without overshoot	SRES B1
RCP6.0	6 W m^{-2} post 2100	850	3.0	Stabilization without overshoot	SRES B2
RCP8.5	8.5 W m^{-2} in 2100	1370	4.9	Rising	SRES A1F1

A scala globale, i Modelli di Circolazione Generale (GCM) sono in grado di simulare la risposta del sistema climatico globale alle forzanti esterne con una risoluzione di circa 100-50 km. I

Modelli Climatici Regionali (RCM), poi, consentono di descrivere la variabilità del clima con un dettaglio molto più elevato, adatto alle esigenze degli utilizzatori finali che necessitano, sulla scala regionale o locale, di un'attenta valutazione sia delle caratteristiche del clima, che degli impatti (Spano et al., 2020).

La presente sezione illustra le proiezioni climatiche degli indicatori principali per il territorio di programma riferite a diversi scenari IPCC e simulate attraverso i diversi modelli regionali (Tabella 6). Infatti per Sardegna, Toscana e Liguria si presentano e discutono i risultati relativi al modello regionale COSMO-CLM nella configurazione sviluppata dal CMCC alla risoluzione di circa 8 km forzato dal modello globale CMCC-CM (risoluzione orizzontale 80 km) disponibili nel sito <https://www.cmcc.it/it/scenari-climatici-per-litalia>. Per la Corsica e la regione PACA, invece, vengono presentati i risultati di due modelli regionali, Aladin-Climat e WRF, più un *ensemble* di dati derivanti da alcuni fra i modelli disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX, disponibili nel rapporto "il clima della Francia nel XXI secolo" (Ouzeau et al., 2014) e nel sito MeteoFrance "ClimateHD" (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>).

Tabella 6 – Riepilogo delle proiezioni future disponibili per il territorio di programma

Regione	Modello	Periodo	Scenario
Sardegna, Toscana e Liguria	COSMO-CLM	1981-2010	RCP4.5 e RCP8.5
		2021-2050	
		2071-2100	
Corsica e regione PACA	Aladin-Climat	1976-2005	RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5
	WRF	2021-2050	
	EURO-CORDEX	2071-2100	

Tabella 7 – Riepilogo degli indicatori disponibili per il territorio di programma

INDICATORI	REGIONE					
	TG	SU95P	HW	PRCPTOT	PRCPTOT JJA	CDD
SARDEGNA	x	x			x	x
TOSCANA	x	x			x	x
LIGURIA	x	x			x	x
CORSICA	x		x	x	x	x
PACA	x		x	x	x	x

Sardegna, Toscana, Liguria

La Figura 20 riporta la differenza in termini di temperatura media per i due scenari di riferimento (RCP4.5 e RCP8.5) dei periodi 2021-2050 e 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1980-2010.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

L'incremento è distribuito pressoché uniformemente su tutto il territorio, ma sono apprezzabili alcune differenze sia per quanto riguarda lo scenario utilizzato sia per l'orizzonte temporale che viene preso in considerazione

In particolare, lo scenario RCP4.5, quello con una variazione di concentrazioni di gas serra minori rispetto al RCP8.5, presenta un incremento di circa 1.5°C in Sardegna e in Liguria, mentre la Toscana rimane al di sotto di tale soglia. Lo scenario RCP8.5, con maggiore concentrazione di gas climalteranti in atmosfera, indica una variazione compresa tra 1.5°C e 4.5°C. Considerando l'orizzonte temporale a lungo termine, l'aumento delle temperature medie è ancora più marcato per lo scenario RCP8.5, e mostra una differenza di poco meno di mezzo grado fra aree costiere ed aree interne.

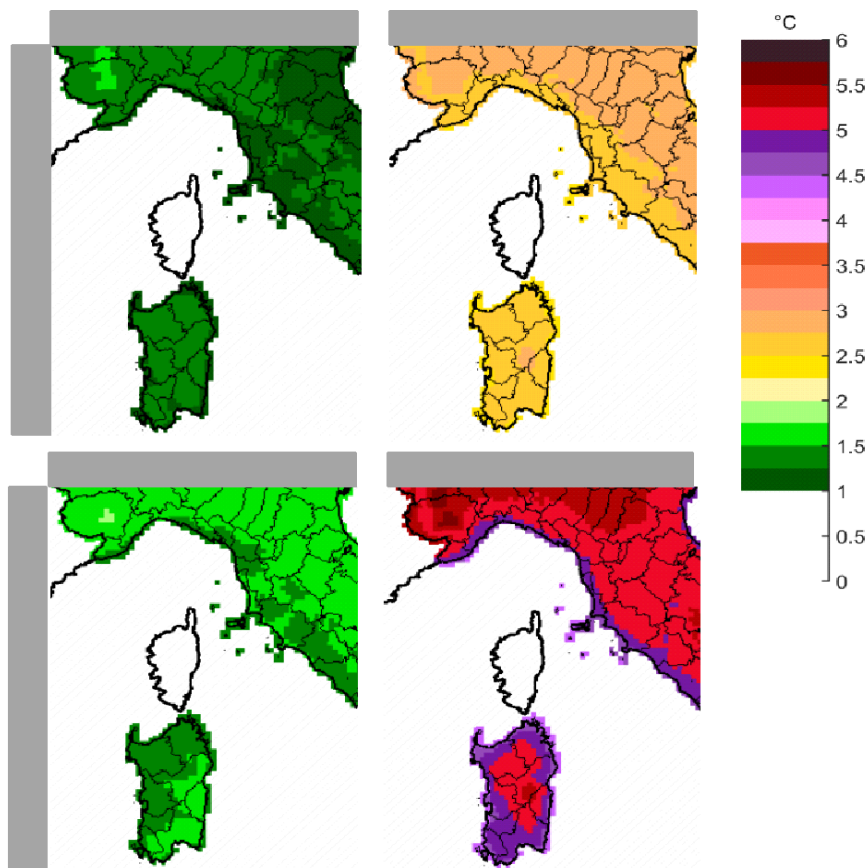


Figura 3 - Anomalie [°C] della temperatura media per il periodo 2021-2050 e 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

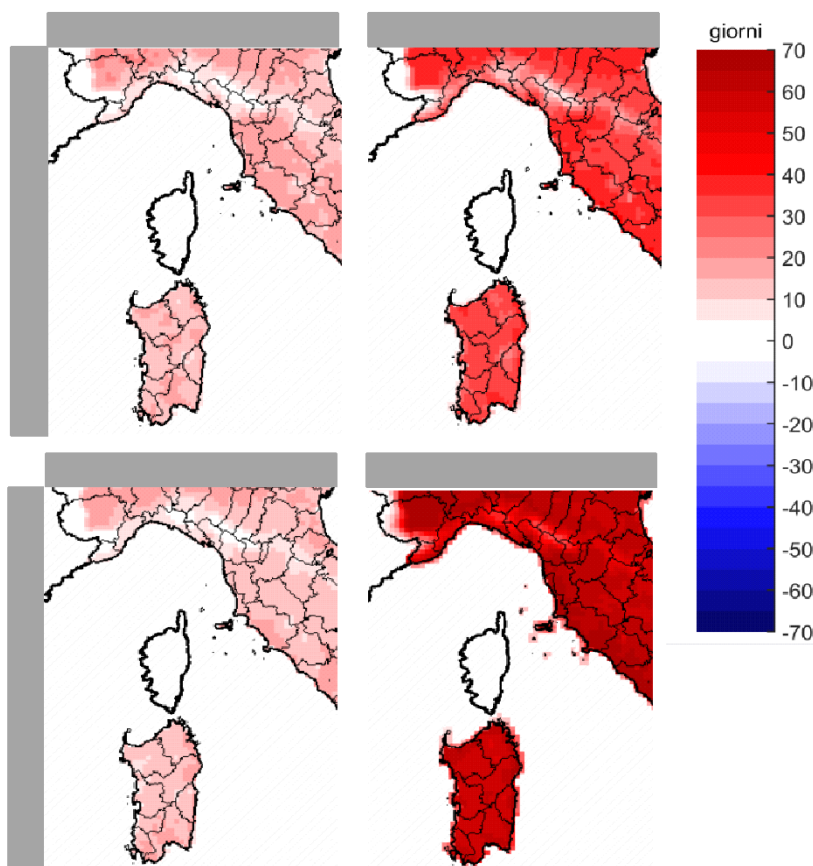


Figura 4 - Anomalie [giorno] dell'indicatore SU95p per il periodo 2021-2050 e 2071-2100, rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5

Per quanto attiene l'indicatore SU95p (Figura 21), è evidente un aumento diffuso su tutta la regione del numero di giorni all'anno con temperatura massima maggiore di 29.2°C.

In particolare, per l'orizzonte a breve termine (2021-2050) il dato oscilla fra +10 fino a +20 giorni per entrambi gli scenari. Le differenze sono più marcate osservando le mappe relative al lungo periodo e soprattutto allo scenario RCP8.5, per il quale le simulazioni arrivano fino a +60 giorni all'anno.

Il pattern spaziale dell'aumento delle giornate con temperature estive sembra ricalcare la conformazione geografica della regione di programma. Sono evidenti infatti le differenze fra le aree pianeggianti (come il Campidano in Sardegna) e le aree montane.

Le variazioni delle precipitazioni estive nei prossimi decenni (Figura 22) indicano basse differenze sull'area italiana qualora si consideri lo scenario RCP4.5. Le proiezioni a breve termine mostrano una diminuzione specialmente a Sud-Est in Sardegna e nella parte occidentale della Liguria mentre non rilevano tendenze alla diminuzione al confine fra Toscana e Liguria. La situazione si capovolge nel lungo periodo, in cui si osserva un marcato decremento delle precipitazioni estive lungo tutta la Liguria e la Toscana, e un decremento più lieve in Sardegna. Le proiezioni con lo scenario RCP8.5 mostrano invece un generale lieve

aumento delle precipitazioni in Sardegna nel breve periodo, e un marcato decremento a fine secolo.

Infine, in accordo con entrambi gli scenari, si attende un aumento del numero di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 millimetro (CDD, Figura 22). In particolare, se sul breve periodo i due scenari non differiscono molto, le differenze si fanno più marcate sul lungo periodo (2071-2100).

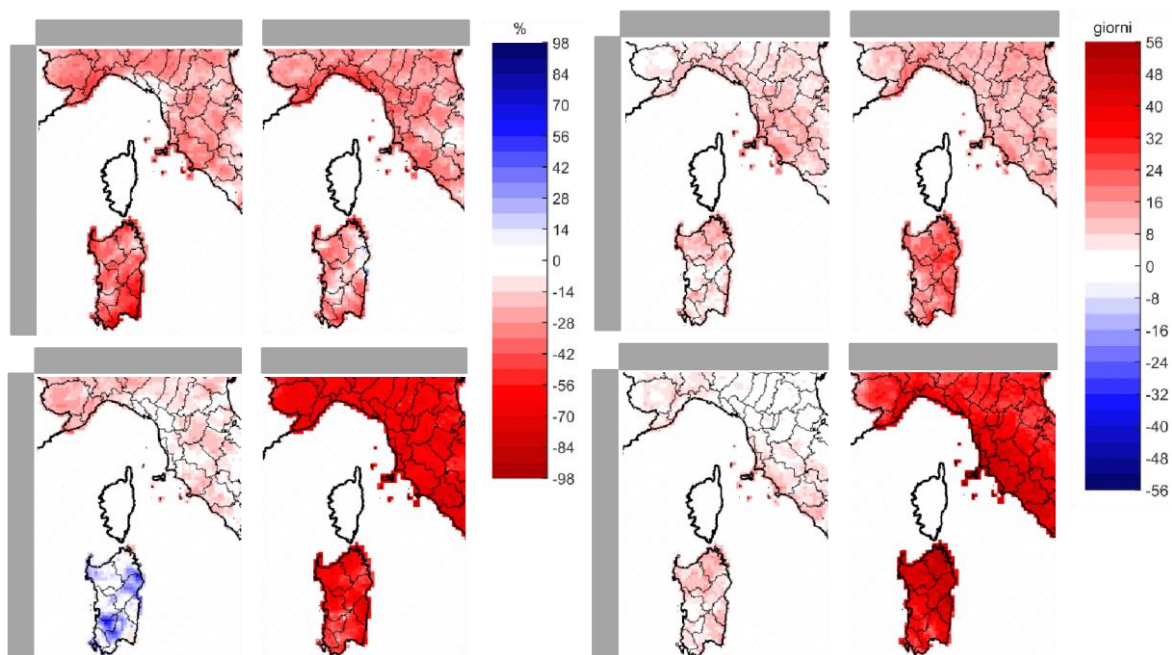


Figura 22 - Anomalie delle precipitazioni estive [%] e dell'indicatore CDD [giorni] per il periodo 2021-2050 e 2071-2050 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

Corsica e Regione PACA

L'analisi dei cambiamenti climatici nelle regioni francesi (Corsica e PACA) si basa sulle informazioni reperite nel rapporto "Il clima della Francia nel XXI secolo" (Ouzeau et al., 2014) e nel sito MétéoFrance "ClimateHD" (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>).

Sia il rapporto sia il sito "ClimateHD" si basano su due modelli regionali, Aladin-Climat e WRF, disponibili per il periodo 1950-2100 e 1971-2100, rispettivamente, e per gli scenari RCP 2.6, 4.5 e 8.5. Le proiezioni inoltre sono state *bias*-corrette con i dati osservati. Inoltre, con l'obiettivo di avere una stima dell'incertezza legata alla modellizzazione climatica, questi due modelli sono associati ad un *ensemble* di dati derivanti da alcuni fra i modelli disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX. In particolare, nella cartografia della distribuzione delle proiezioni vengono presentati i valori medi per un periodo di 30 anni che si trovano fra il minimo e il 25° percentile della distribuzione dell'*ensemble* e quelli che si trovano oltre il 75° percentile.

In Figura 23 è riportato l'andamento della crescita della temperatura media su scala annuale per la Corsica e la regione PACA fino al 2100. In entrambe le regioni, le proiezioni climatiche mostrano un aumento delle temperature medie annuali fino al 2050 con entrambi gli scenari

RCP. L'evoluzione di questo aumento differisce a partire dalla seconda metà del XXI secolo. Secondo RCP8.5 (scenario senza politica climatica), l'aumento della temperatura media annuale potrebbe raggiungere i 4°C entro il 2071-2100.

Con lo scenario RCP4.5 (Figura 24), entro il 2021-2050 i modelli WRF e Aladin-Climat simulano un aumento della temperatura media estiva tra 0.5 e 2° C su tutto il territorio della Francia e specialmente per le regioni di influenza mediterranea, coerentemente con le simulazioni EURO-CORDEX. L'aumento medio alla fine del XXI secolo è appena maggiore rispetto a prima metà di un secolo, ad eccezione di Aladdin-Clima, per il quale il riscaldamento sale a 3.5° C nell'est del paese, il che lo colloca al di sopra del 75° percentile dell'ensemble EURO-CORDEX. In generale, per lo scenario più pessimista e a fine secolo, osserviamo un aumento che potrebbe raggiungere i 5°C in Corsica e 6°C nella regione PACA (Figura 25).

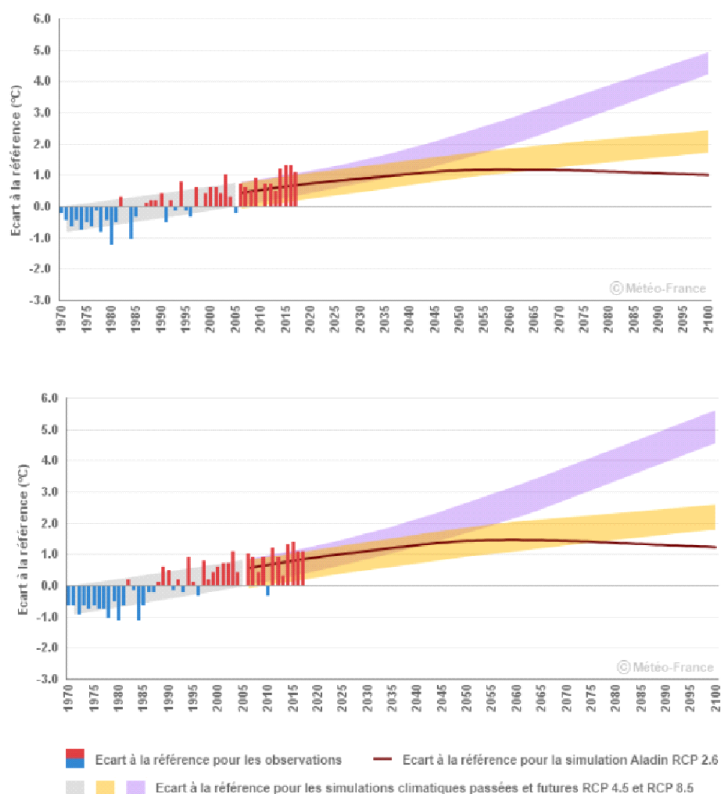


Figura 23 - Anomalia della temperatura media annuale in Corsica e nella regione PACA: osservazioni e proiezioni con ensemble EURO-CORDEX con gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 rispetto al periodo di riferimento 1976-2005. Fonte: MétéoFrance



Interreg



UNIONE EUROPEA



MED-Star

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

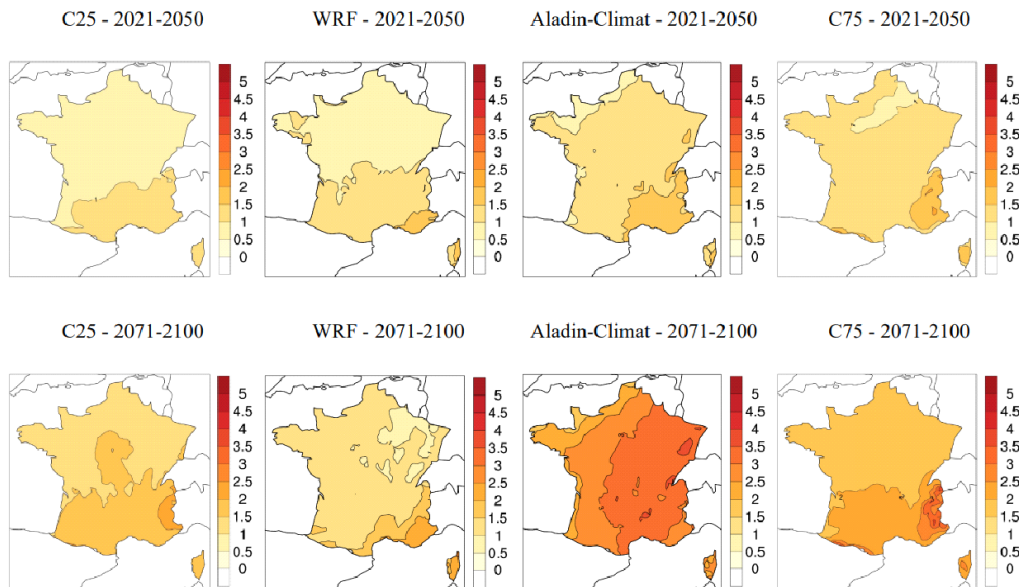


Figura 24 - Mappe di variazione della temperatura estiva in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP4.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX. Modificato da Ouzeau et al., 2014

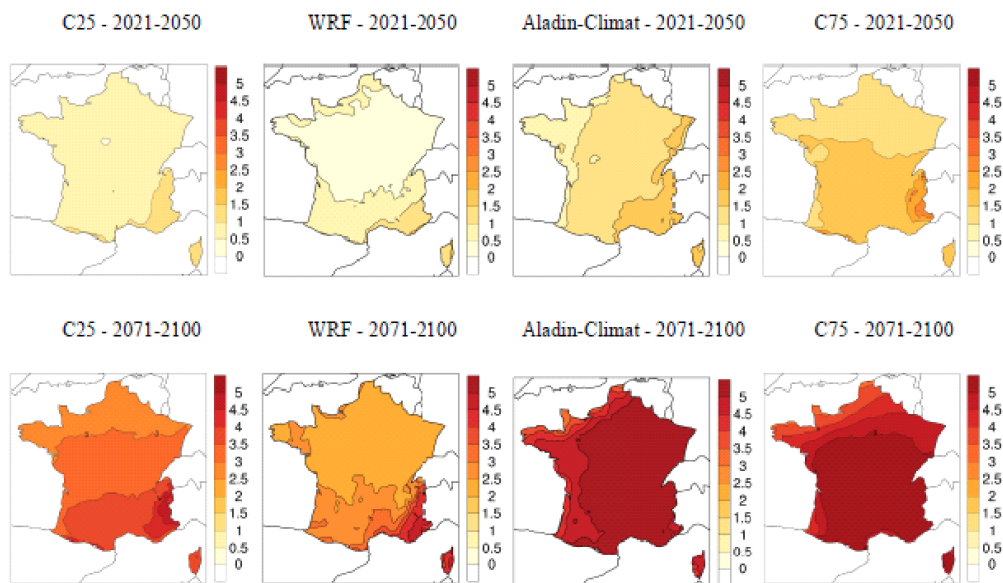


Figura 25 - Mappe di variazione della temperatura estiva in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP8.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX. Modificato da Ouzeau et al., 2014

L'evoluzione delle precipitazioni annuali nei prossimi decenni (Figura 26) non indica invece grosse differenze rispetto al periodo di riferimento. Questa mancanza di variazione nella media annuale, tuttavia, maschera i contrasti stagionali. Verso la seconda metà del XXI secolo, infatti,



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

le proiezioni per il periodo estivo evidenziano, specialmente sotto lo scenario RPC8.5, una diminuzione delle precipitazioni.

Entro il 2021-2050, i risultati associati allo scenario RCP4.5 non sembrano mostrare alcun cambiamento molto marcato sull'intero territorio (Figura 27). Si nota anche che il modello WRF simula un aumento delle precipitazioni elevate vicino alla costa della Manica e dell'Atlantico, così come vicino alle regioni della Savoia e al nord delle Alpi. Alla fine del secolo, i risultati non consentono di individuare una chiara tendenza l'evoluzione delle precipitazioni estive, i modelli WRF e Aladin-Climat sono in disaccordo sul segno del cambiamento.

I risultati associati invece allo scenario RCP8.5 evidenziano per fine secolo una diminuzione delle precipitazioni compresa tra 0,25 e 1 mm / giorno sulla maggior parte del territorio francese (modello Aladin-Climat) (Figura 27).

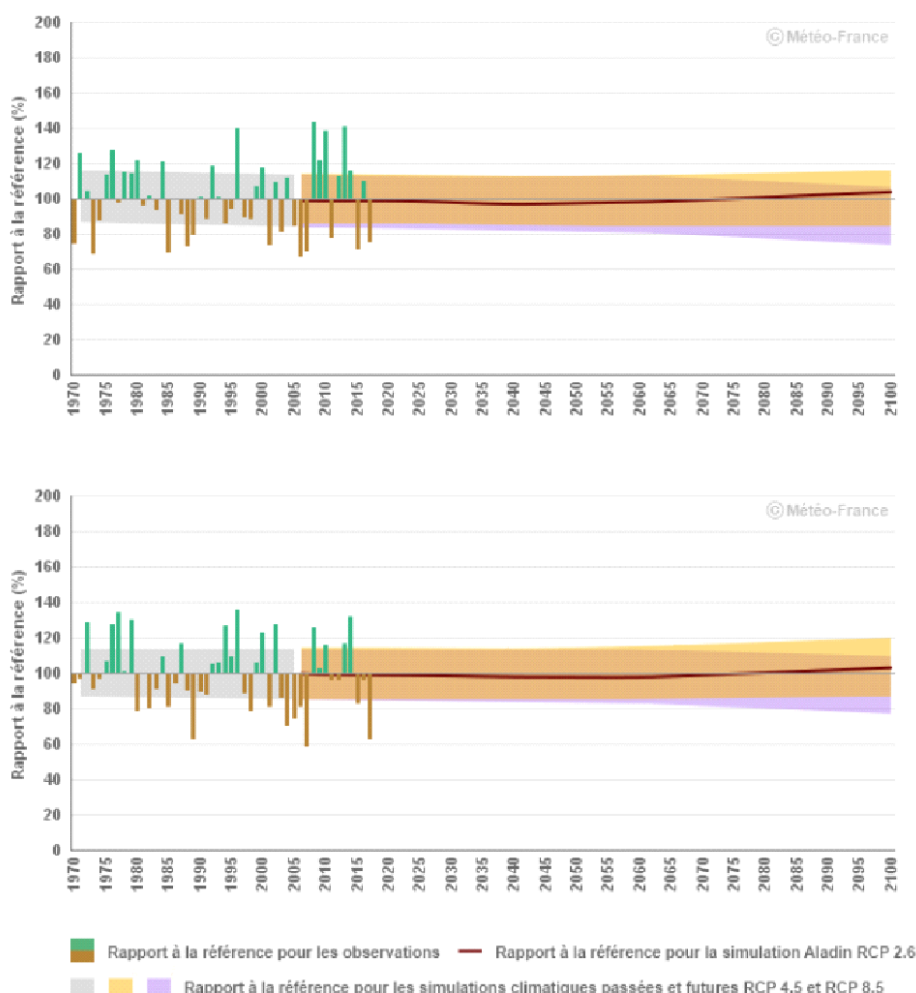


Figura 26 – Anomalia delle precipitazioni annuali in Corsica e nella regione PACA: osservazioni e proiezioni con ensemble EURO-CORDEX con gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 rispetto al periodo di riferimento 1976-2005. Fonte: MétéoFrance

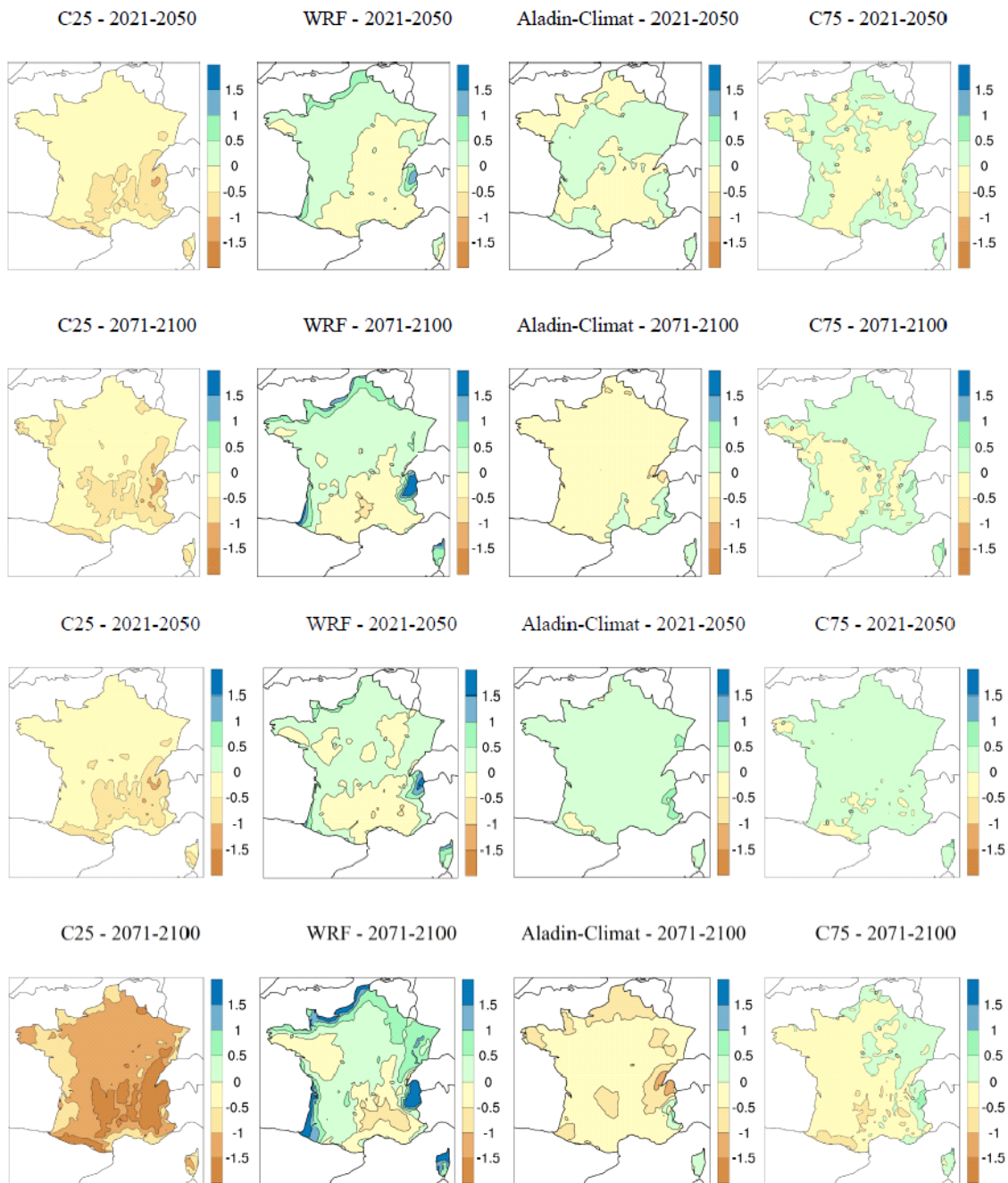


Figura 27 - Mappe di variazione delle precipitazioni estive in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP4.5 (primo e secondo pannello dall'alto) e 8.5 (terzo e quarto pannello), secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX. Modificato da Ouzeau et al., 2014

La Figura 28 e la Figura 29 mostrano le anomalie in termini di numero di giorni di ondate di calore in estate rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per gli scenari RCP4.5 e 8.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

Entro il 2021-2050, tutti i modelli simulano un aumento della variabile considerata. Per i due scenari considerati, l'incremento è moderato e va da 0 a 5 giorni su tutto il territorio, salendo addirittura da 5 a 10 giorni per lo scenario RCP4.5 nelle regioni sud-orientali.

Questo aumento è ancora più importante alla fine del secolo e si situa per lo scenario RCP4.5 tra 5 e 10 giorni nelle regioni occidentali e fino a 20 giorni nella parte orientale del paese. Sebbene l'entità del cambiamento sia diversa per WRF e Aladin-Climat, i risultati mostrano un aumento nel complesso più marcato andando a sud per entrambi i modelli

Questi risultati sono ancora più evidenti per lo scenario RCP8.5, che mostra un aumento del numero di giorni di ondate di caldo da 5 a più di 20 giorni in più in media in estate (o addirittura superiore a 40 giorni per le regioni del Sud-Est per Aladin-Climat, che simula alcuni dei valori più alti del *ensemble* multi-modello).

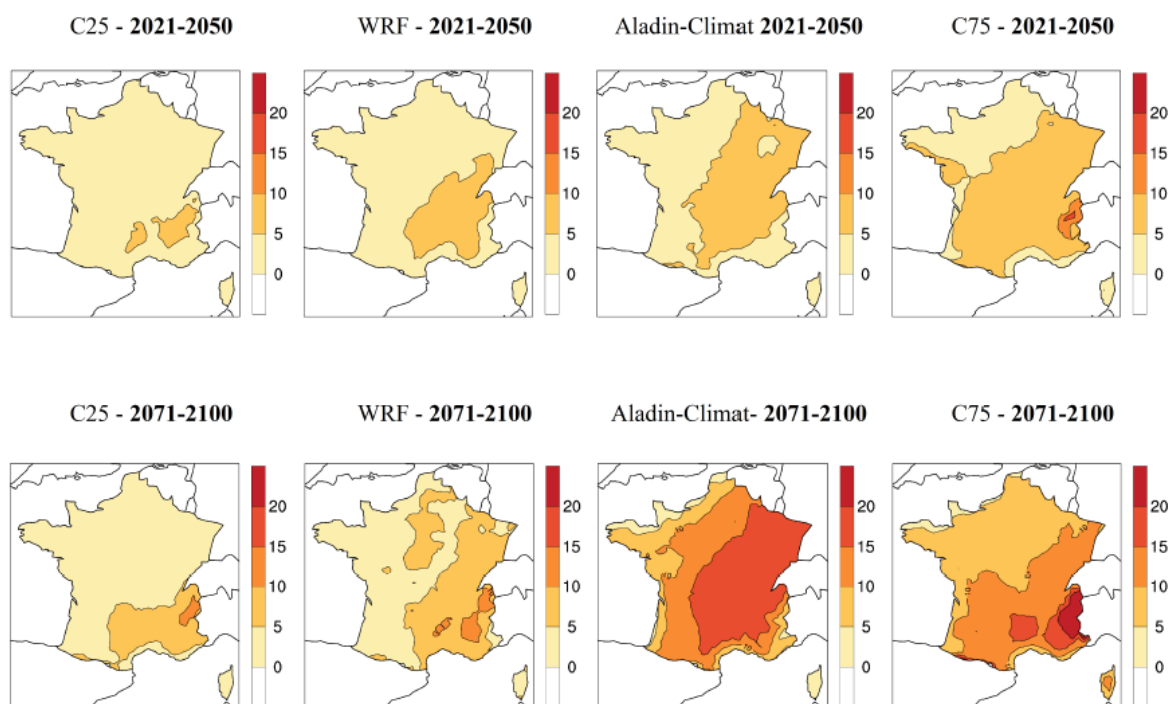


Figura 28 – Anomalia del numero di giorno di ondate di calore in estate in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP4.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensemble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensemble EURO-CORDEX (modificato da Ouzeau et al., 2014)

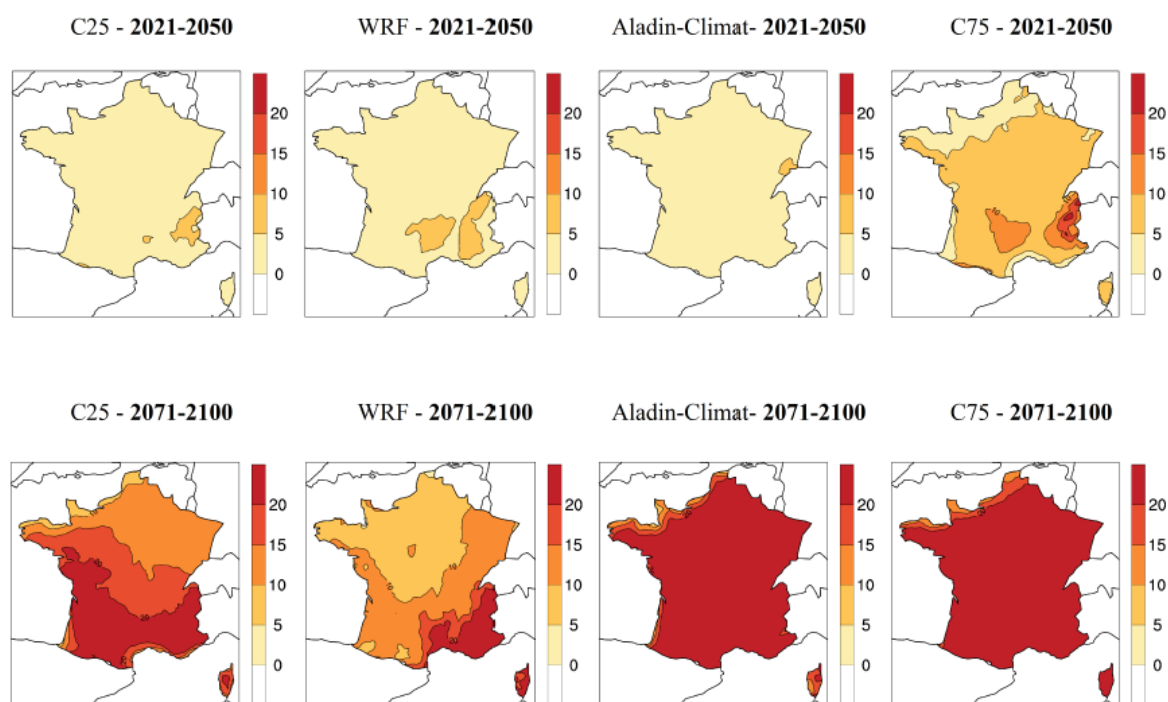


Figura 29 – Anomalia del numero di giorno di ondate di calore in estate in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP8.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX (modificato da Ouzeau et al., 2014)

La Figura 30 e la Figura 31 mostrano l'anomalia nel numero di giorni siccitosi, con precipitazioni minori di 1mm durante il periodo estivo per gli scenari RCP4.5 e RCP8.5, per gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. In generale, nel periodo storico, le regioni mediterranee registrano più di 25 giorni di siccità nel periodo estivo, anche se bisogna evidenziare che tale stima è soggetta a forti incertezze, legate all'incertezza delle precipitazioni medie (dato non mostrato). Dall'analisi delle mappe di anomalia si può osservare che, all'orizzonte 2021-2050, i modelli WRF e Aladin-Climat sono in disaccordo sul segno del cambiamento del numero di giorni asciutti nel territorio, con scostamenti dal periodo di riferimento generalmente non superiori a 2 giorni, indipendentemente dallo scenario RCP considerato.

Entro il 2071-2100, le deviazioni dal periodo di riferimento aumentano, ma i modelli WRF e Aladdin-Climate sono ancora in disaccordo sul segno di questo divario. Tuttavia, i modelli sembrano concordare su un aumento degli episodi di siccità nel sud del paese, in particolare nel sud-est, con 2-8 giorni di siccità in più rispetto al periodo di riferimento secondo il modello considerato, per lo scenario RCP4.5. Il numero di giorni asciutti simulati è amplificato se consideriamo lo scenario RCP8.5 (Figura 31).

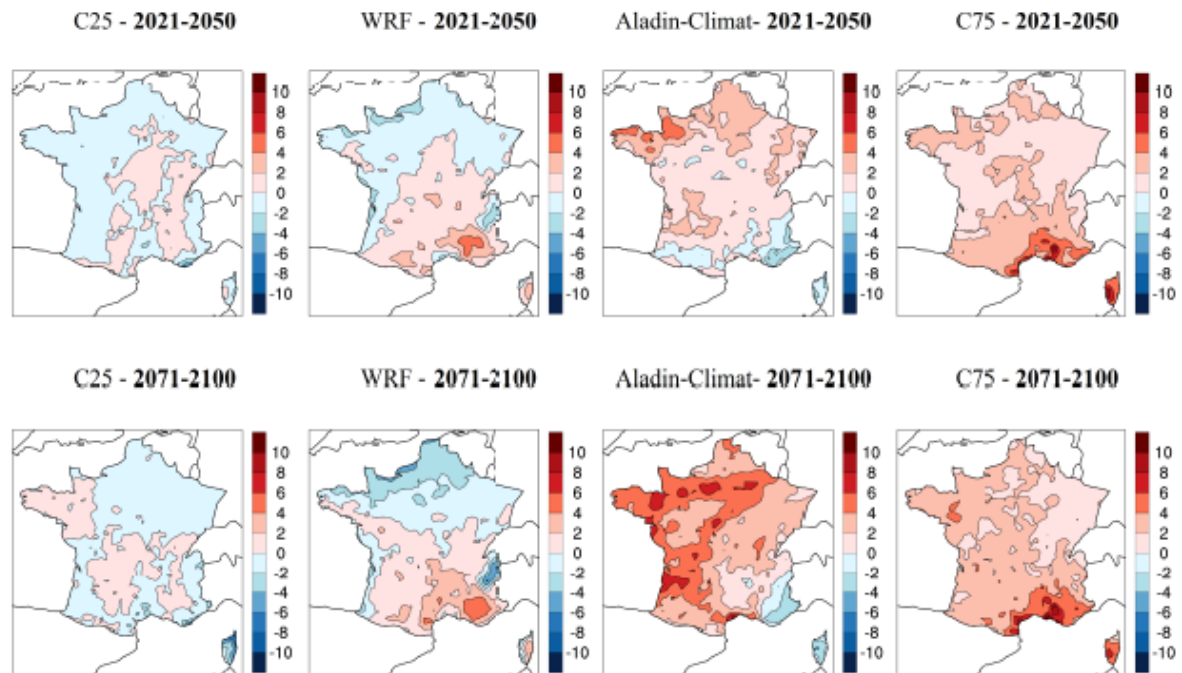


Figura 30 – Anomalia del numero di giorno consecutivi con meno di 1 mm di precipitazioni in estate in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP4.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX (modificato da Ouzeau et al., 2014)

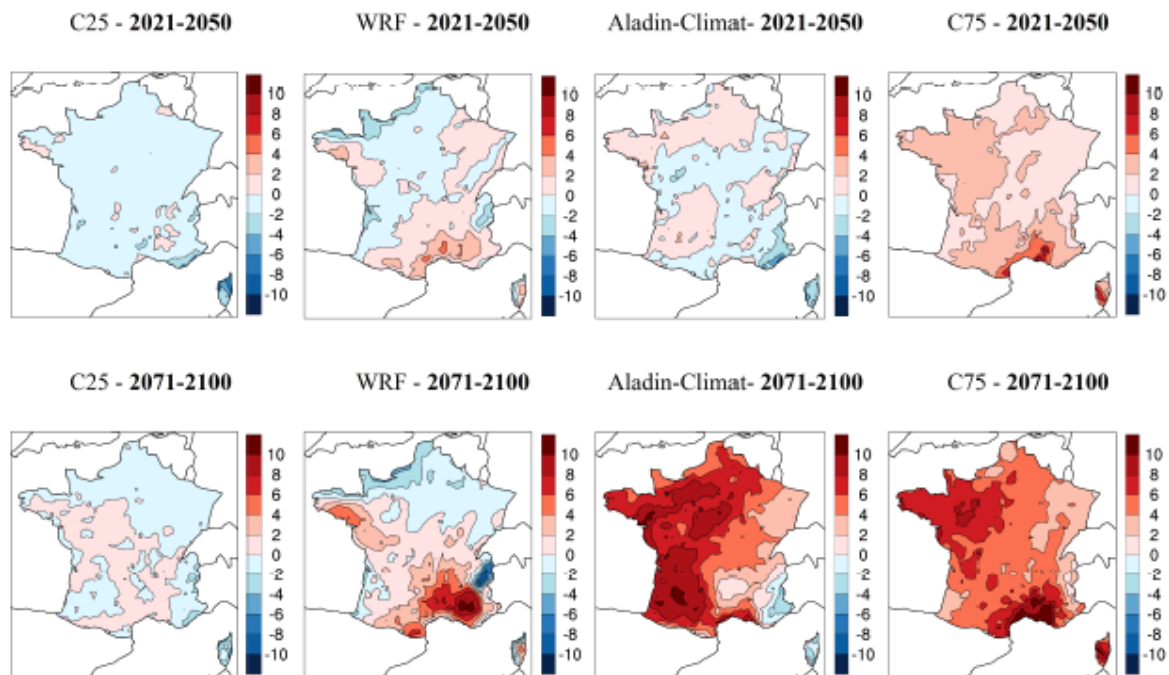


Figura 31 – Anomalia del numero di giorno consecutivi con meno di 1 mm di precipitazioni in estate in Francia rispetto al periodo di riferimento 1976-2005, per lo scenario RCP8.5, secondo gli orizzonti 2021-2050 e 2071-2100. Da sinistra a destra, 25° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX, WRF, Aladin-Climat, 75° percentile dell'ensamble EURO-CORDEX. Modificato da Ouzeau et al., 2014

Gli impatti potenziali dei cambiamenti climatici sugli incendi boschivi

L'interazione fra l'aumento delle temperature, la riduzione delle precipitazioni medie annue, e una maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi quali le ondate di calore o la prolungata siccità dovute ai cambiamenti climatici (come visto nel capitolo precedente) con altri elementi socio-economici e gestionali (come l'abbandono delle aree coltivate, dei pascoli e di quelle che un tempo erano foreste gestite, e del forte esodo verso le città e le aree costiere) contribuiscono a rendere i territori di programma sempre più vulnerabili al rischio di incendi boschivi e al verificarsi di grandi eventi (Bovio et al., 2017), estesi e distruttivi, con ripercussioni su beni antropici e servizi ecosistemici.

Il presente capitolo intende quindi presentare un quadro complessivo degli impatti dei cambiamenti climatici e le principali metriche relative alle diverse componenti dell'attività degli incendi boschivi (pericolosità, estensione dell'area bruciata, propagazione e comportamento, etc.). Per raggiungere questo obiettivo sono stati raccolti e analizzati i più recenti dati e articoli disponibili specifici o che includessero l'area di programma (Tabella 8).

La prima metrica analizzata è relativa al pericolo di incendio (*Fire Danger*), definito come una stima di fattori fissi e variabili dell'ambiente di incendio che ne influenzano la facilità di accensione, la velocità di propagazione, la difficoltà di controllo e l'impatto dell'incendio (Merrill and Alexander, 1987). I modelli che stimano tale pericolo, spesso costituiti da moduli che rappresentando le caratteristiche di umidità del combustibile, possono essere quindi convenientemente utilizzati per descrivere gli impatti dei cambiamenti climatici sugli incendi. Attualmente, uno dei modelli di pericolosità di incendio più utilizzati sia in letteratura scientifica che per scopi operativi è *Fire Weather Index System (FWI)*. Questo modello è anche utilizzato dal sistema informativo europeo sugli incendi boschivi (EFFIS) e fornisce una valutazione numerica (non dimensionale) sul potenziale degli incendi basata esclusivamente sulle condizioni meteorologiche favorevoli all'innescio e alla propagazione del fuoco.

Due studi recentissimi hanno stimato la pericolosità degli incendi e metriche ad essi correlati nella parte meridionale della Francia.

Fargeon e colleghi (2020) hanno calcolato la pericolosità degli incendi attraverso l'indice FWI per il periodo giugno-settembre dal 1995 al 2098 sotto due scenari di emissione (RCP4.5 e 8.5) utilizzando diversi modelli di simulazione tratti dall'esperimento EURO-CORDEX (Kotlarski et al., 2014). Per quanto riguarda l'intera Francia, i dati suggeriscono un aumento della pericolosità di incendio, ma mostrano importanti differenze fra gli scenari di emissione. Lo scenario RCP8.5 è infatti caratterizzato da un incremento più marcato rispetto all'RCP4.5 dopo il 2050. Per la fine del secolo, la differenza percentuale con il periodo di controllo (1995-2015) raggiungerà +24% per FWI sotto lo scenario RCP4.5 e +67% sotto lo scenario RCP8.5. L'area mediterranea (Figura 32) è caratterizzata da un pericolo di incendio molto più alto rispetto al resto del territorio francese. Le differenze tra gli scenari sono visibili nella maggior parte dei casi nella Francia meridionale e occidentale, dove il pericolo di incendio è o diventerà significativo e le differenze maggiori sono state osservate nella regione dell'ex Linguadoca-Rossiglione e nella regione della Corsica.



Tabella 8 - Documenti raccolti sugli impatti potenziali dei cambiamenti climatici sugli incendi

Fonte	Area	Metrica	Periodo	Modello	Scenario
Fargeon et al. 2020	Francia	FWI	1995-2015 2078-2098	3 GCM e 2 RCM EURO-CORDEX	RCP4.5 RCP8.5
Varela et al. 2019	Regione PACA	FWI>50	2006-2015 2036-2045	2 GCM (CNRM-SMHI e MPI-SMHI) EURO-CORDEX	RCP4.5 RCP8.5
Copernicus (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!software/app-tourism-fire-danger-indicators-projections?tab=app)	Territorio di programma	FWI N° giorni con FWI molto alto	1981-2005 2021-2040 2041-2060 2079-2098	EURO-CORDEX	RCP4.5 RCP8.5
Amatulli et al. 2013	EU-Med (Sud della Francia, Italia)	Area bruciata	1961-1990, 2071-2100	un RCM (HIRHAM) guidato da un GCM (ECHAM) (PRUDENCE project)	A2 B2
Migliavacca et al. 2013	Europa	Area bruciata	1960-1990, 2010-2040, 2040-2070, 2070-2100	5 RCM-GCM (ENSEMBLES project)	A1B
Turco et al. 2018	EU-Med	Area bruciata	1971-2000, + 1.5, + 2, + 3 °C	9 simulazioni dalla combinazione di 4 RCM e 5 GCM (EUROCORD EX)	RCP4.5 RCP8.5
Lozano et al. 2017	Italia + Corsica	Valori medi e mappe di burn probability, flame length and fire size	1981-2010, 2011-2040, 2041-2070	un RCM (CMCC-CLM)	A1B

Varela e colleghi (2019) hanno invece valutato il numero di giorni con FWI superiore alla soglia che riflette quanto il pericolo estremo di incendi cambi nel tempo e nello spazio (definito qui



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

FWI > 50). I risultati dello studio evidenziano un potenziale raddoppio dei giorni con pericolo di incendio da alto ad estremo in molte località dell'area studio (Figura 33). Inoltre, Varela e colleghi (2019) si attendono un aumento importante dell'area dove FWI >50 accade più di una settimana per stagione degli incendi. Questa percentuale aumenta da 5.8% nel periodo storico al 18.5% nello scenario RCP4.5 e 10.6% nello scenario RCP8.5, e si concentra anche in questo caso nella regione del Var e nella parte orientale della Corsica.

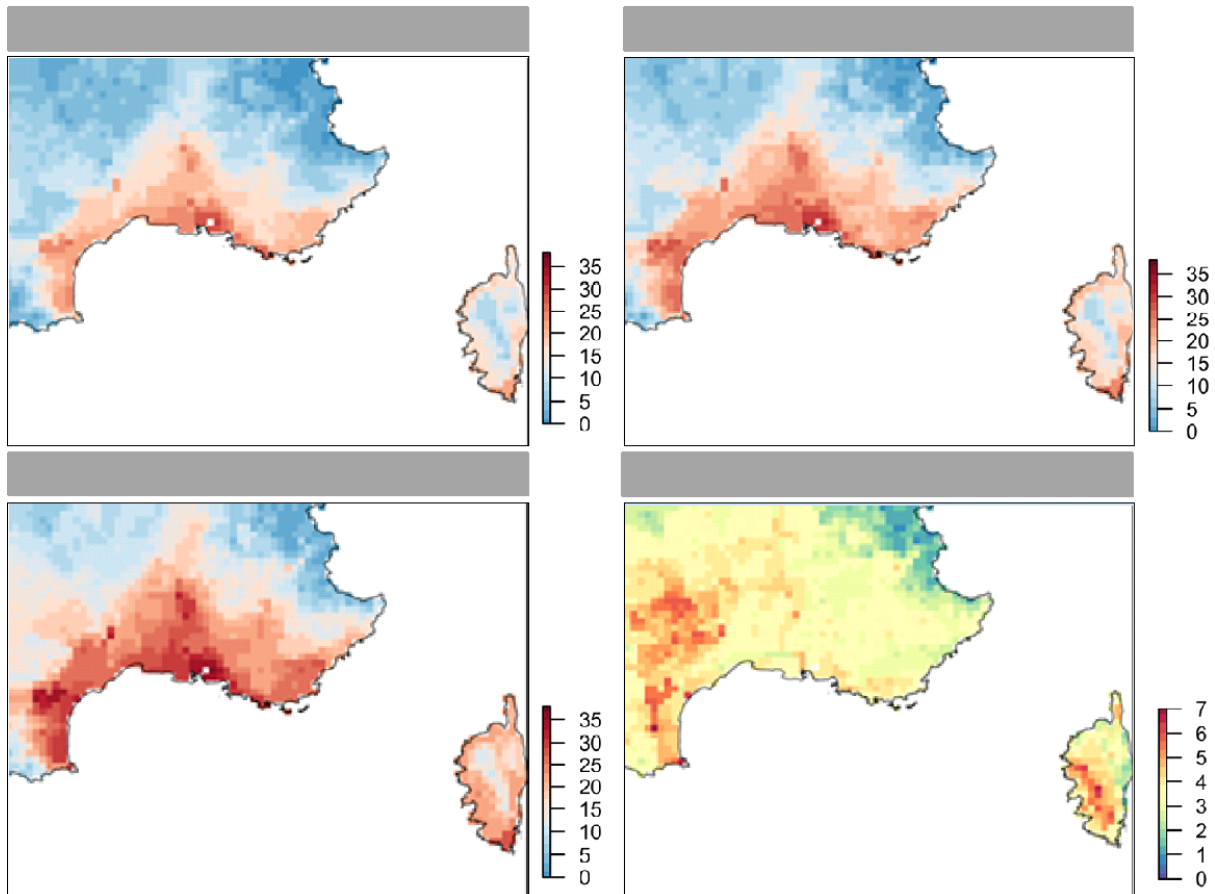


Figura 32 - Evoluzione della distribuzione spaziale del FWI medio durante la stagione degli incendi tra periodo storico (1995-2006) (in alto a sinistra) e futuro lontano (2078-2098) sotto i due scenari RCP4.5 e 8.5 (rispettivamente in alto a destra e in basso a sinistra) e differenza tra i due scenari (in basso a destra) (modificato da Fargeon et al., 2020)

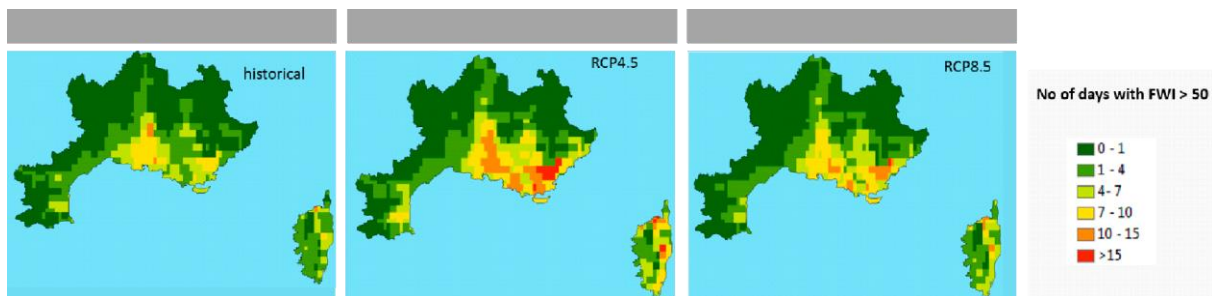


Figura 33 – Da sinistra a destra, mppa del numero di giorni con FWI>50 per stagione degli incendi, per il periodo storico 2006-2015 e per il futuro prossimo 2036-2045, sotto i due scenari RCP4.5 e 8.5 (modificato da Varela et al., 2019)

Nell'ambito del sistema Copernicus, il gruppo NOA (National Observatory of Athens) ha sviluppato un'applicazione⁵ che presenta una valutazione su scala europea dell'indice FWI per il clima corrente, calcolato utilizzando le rianalisi ERA5, e le proiezioni future derivate da modelli di circolazione globale e modelli climatici regionali. L'applicazione fornisce statistiche multi-modello e le proiezioni future di FWI sono inoltre corrette utilizzando le rianalisi ERA5. I valori di FWI sono quindi disponibili per il clima corrente (1981-2005), il futuro prossimo (2021-2040), il mezzo secolo (2041-2060) e la fine del secolo (2079-2098).

La Figura 34 rappresenta il valore medio di FWI per la stagione degli incendi (giugno-settembre) per i tre periodi menzionati e sotto gli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. I valori sono riclassificati in 6 classi di pericolosità secondo il sistema di classificazione di EFFIS:

- *very low* (0.0 – 5.2)
- *low* (5.2 – 11.2)
- *moderate* (11.2 – 21.3)
- *high* (21.3 – 38.0)
- *very high* (38.0 – 50.0)
- *extreme* (50.0 – 100.0)

La Figura 35 riporta invece la differenza in termini di temperatura media per i due scenari di riferimento (RCP4.5 e RCP8.5) dei tre periodi futuri considerati al periodo di riferimento 1981-2005. L'incremento è distribuito pressoché uniformemente su tutto il territorio nei primi due periodi futuri e sotto i due scenari. Si riscontra un incremento lievemente maggiore in Sardegna, Toscana e distretti occidentali della regione PACA nello scenario RCP8.5, ma si rimane entro un *range* contenuto di variazione (max +2.5 nella ex provincia di Olbia-Tempio nel 2021-2040 rispetto al periodo storico e max +5.1 nel distretto del Var nel 2041-2060 rispetto al periodo storico). Le differenze maggiori sono apprezzabili sempre sotto lo scenario RCP8.5 e sul lungo periodo (2079-2098), dove si osserva una variazione di FWI stagionale compresa fra +7.4 della provincia di Genova e +12.2 delle ex province di Sassari e Olbia-Tempio. I dati Copernicus proiettano anche il numero di giorni con pericolosità molto alta per i tre periodi futuri e il periodo storico sotto i due scenari di emissione (Figura 36). Anche in questo caso si osserva un aumento più marcato sotto lo scenario più pessimista e sul lungo periodo (2079-2098). In questo quadro, la regione Sardegna registra il più alto numero di giorni con

⁵ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-tourism-fire-danger-indicators-projections?tab=app>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

pericolosità molto alta rispetto alle altre regioni (*range* 50-100). La regione che, sotto lo scenario RCP4.5, registra un maggior incremento è la Sardegna. Dalla metà del XXI secolo si proiettano, in media, più di 10 giorni per stagione con pericolosità molto alta rispetto al periodo di controllo 1981-2005. Segue la regione PACA, che si attesta a più 7 giorni (Tabella 9). Sotto lo scenario più pessimista, RCP8.5, si osserva una netta differenza rispetto allo scenario più moderato e un netto incremento rispetto al periodo di controllo solo alla fine del secolo. Anche in questo caso la regione che potrebbe avere esperienza di un maggior incremento medio in termini di numero di giorni con pericolosità molto alta è la Sardegna (+28 giorni rispetto al periodo storico), seguita dalla regione PACA (+20) e dalla Toscana (+18).

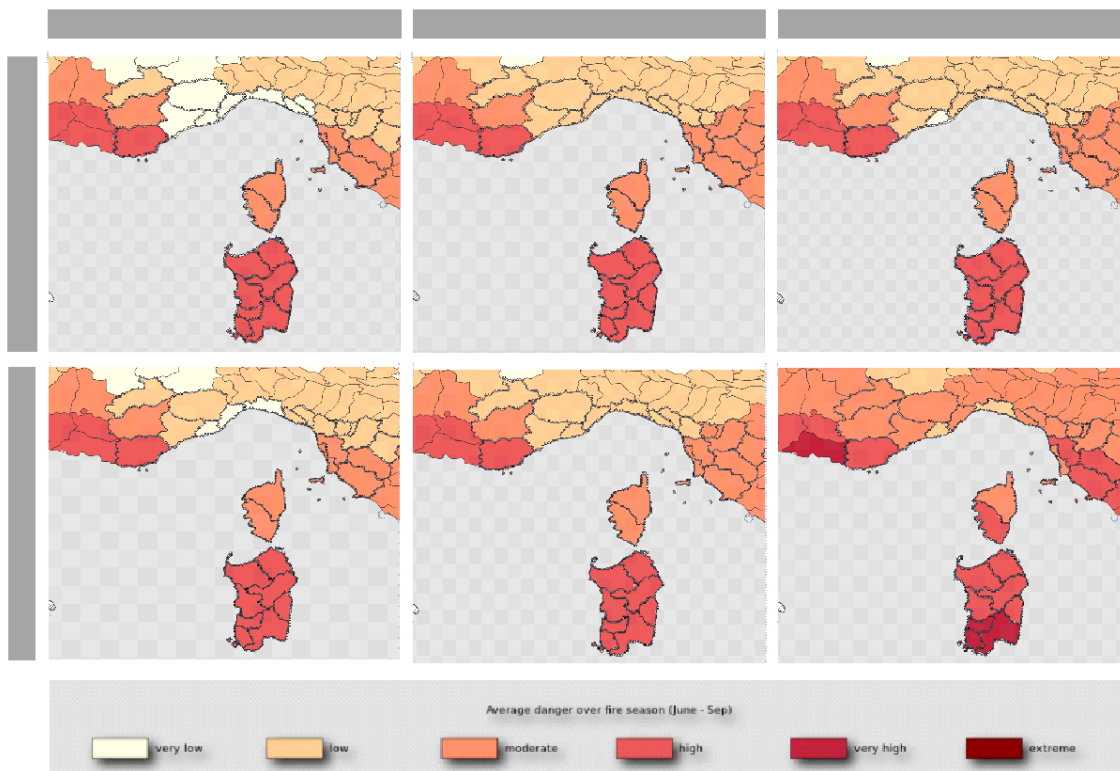


Figura 34 - Proiezioni future di FWI medio stagionale per il futuro prossimo (2021-2040), il mezzo secolo (2041-2060) e la fine del secolo (2079-2098) sotto i due scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Fonte Copernicus



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

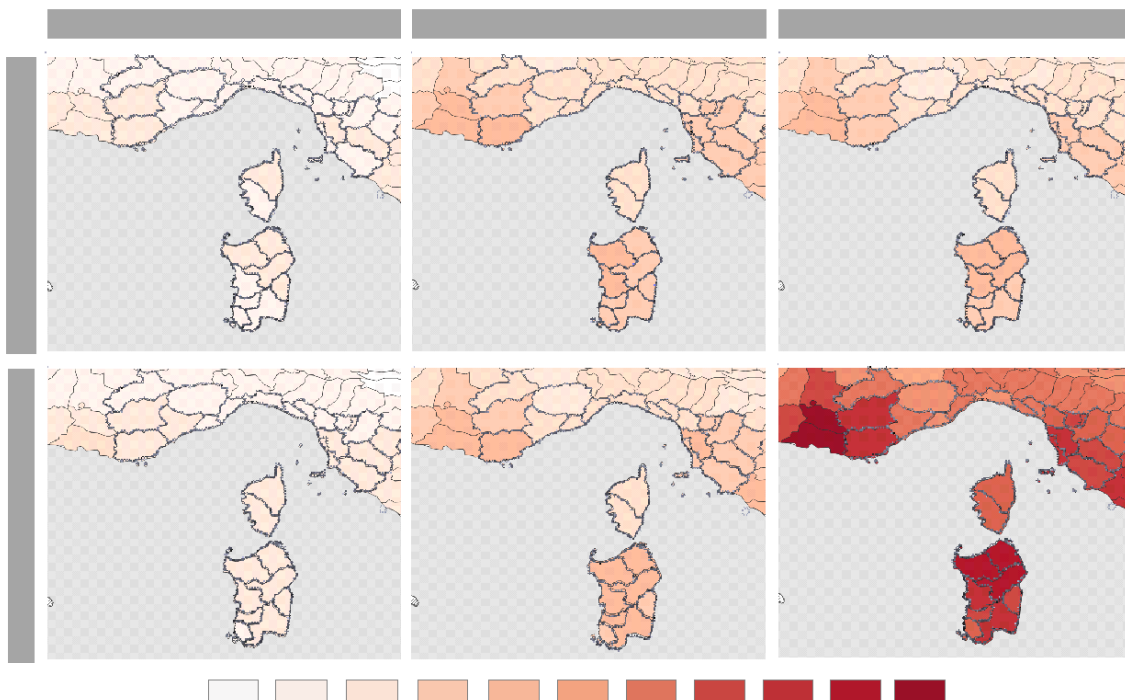


Figura 35 - Anomalie del valore medio stagionale di FWI per il periodo 2021-2040, 2041-2061, e 2079-2100 rispetto al periodo di riferimento 1981-2005, secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Fonte Copernicus

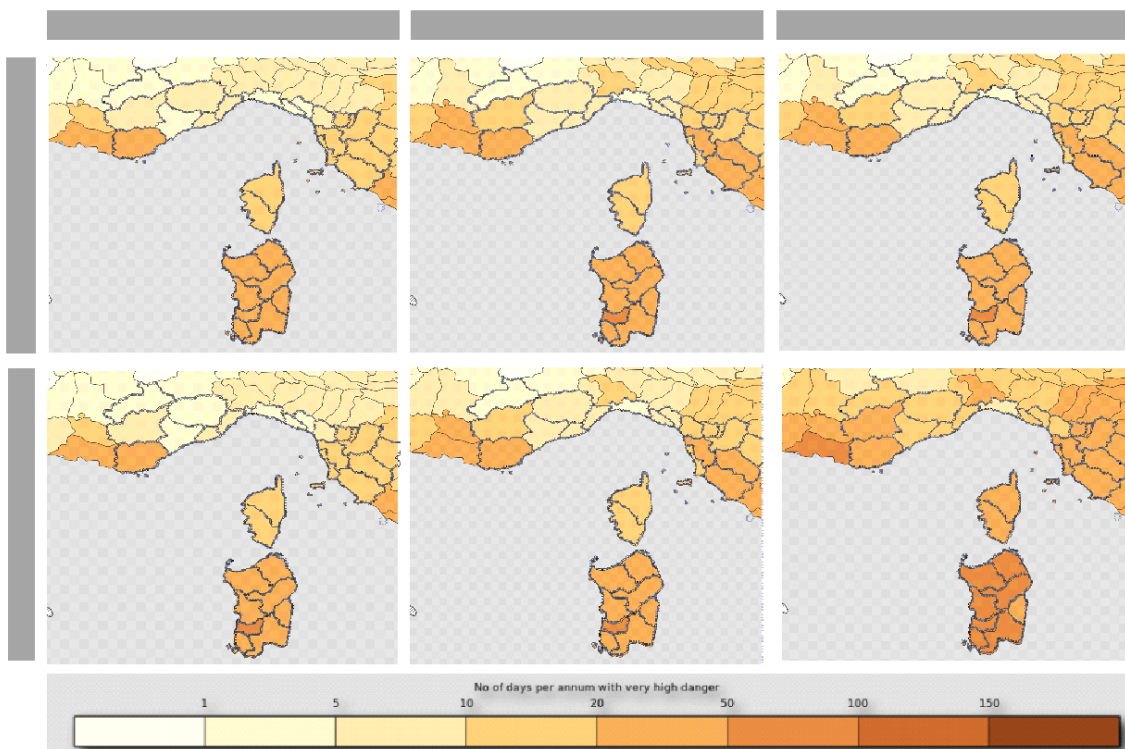


Figura 36 - Proiezioni future del numero di giorni annuo con pericolosità di incendio molto alta per il futuro prossimo (2021-2040), il mezzo secolo (2041-2060) e la fine del secolo (2079-2098) sotto i due scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Fonte Copernicus

Tabella 9 - Anomalie [numero di giorni] del numero di giorni annuo con pericolosità di incendio molto alta per il periodo 2021-2040, 2041-2061, e 2079-2100 rispetto al periodo di riferimento 1981-2005, secondo gli scenari RCP4.5 e RCP8.5. Fonte Copernicus

	RCP4.5			RCP8.5		
	2021-2040	2041-2060	2079-2098	2021-2040	2041-2060	2079-2098
PACA	+3	+7	+7	+3	+7	+20
Corsica	+3	+5	+6	+3	+6	+16
Liguria	+1	+3	+3	+1	+3	+10
Toscana	+3	+6	+6	+3	+7	+18
Sardegna	+5	+10	+11	+5	+12	+28

L'allungamento della stagione degli incendi e l'aumento delle giornate con pericolosità molto alta si potrà tradurre in un aumento delle superfici percorse. Diversi studi hanno stimato questa metrica a scala Europea (e.g., Amatulli et al., 2013; Migliavacca et al., 2013; Turco et al., 2018; Wu et al., 2015) e attraverso diversi approcci (modelli statistici o modelli biogeochimici come i Dynamic Global Vegetation Models - DGVM).

Per esempio, Amatulli et al. (2013) combinando la pericolosità di incendio (FWI, calcolato a partire da un solo modello climatico, RCM (HIRHAM) guidato da un GCM (ECHAM), e due scenari di emissione, A2 e B2) con diversi modelli statistici, prospettano per l'area Euro-Mediterranea un aumento dell'area bruciata nel periodo 2071-2100 rispetto al periodo 1985-2004 dal 66% al 140%, a seconda dello scenario considerato. Per la Francia mediterranea si prospetta invece un aumento del 75% sotto lo scenario B2 e del 129% sotto lo scenario A2. L'incremento proiettato è invece più contenuto per l'Italia, dove lo studio stima un aumento dell'area bruciata dal 21% al 43% per l'Italia, sempre a seconda che si consideri lo scenario B2 o lo scenario A2. Si consideri comunque che nel loro articolo, Amatulli e colleghi (2013) non tengono in considerazione né le attività di mitigazione del rischio (spegnimento, lotta attiva), che invece verranno messe in campo per limitare gli impatti degli incendi su beni e persone, né il ruolo giocato dalla vegetazione.

Migliavacca e colleghi (2013) applicano un approccio modellistico più sofisticato in grado di tenere in considerazione questi aspetti chiave attraverso l'utilizzo di un modello biogeochimico (il Community Land Model). Le stime che derivano per questo studio risultano essere più conservative rispetto ad Amatulli e colleghi (2013). Infatti, per la fine del secolo (2070-2100), e sotto lo scenario A1B, Migliavacca e colleghi (2013) stimano per l'Europa Mediterranea un aumento dell'area bruciata del 37% rispetto al periodo 1960-1990. Anche se non di agevole visualizzazione, in Figura 37 si può osservare la Sardegna quale regione del territorio di programma più colpita dall'incremento dell'area bruciata, specialmente per la metà e la fine del secolo.

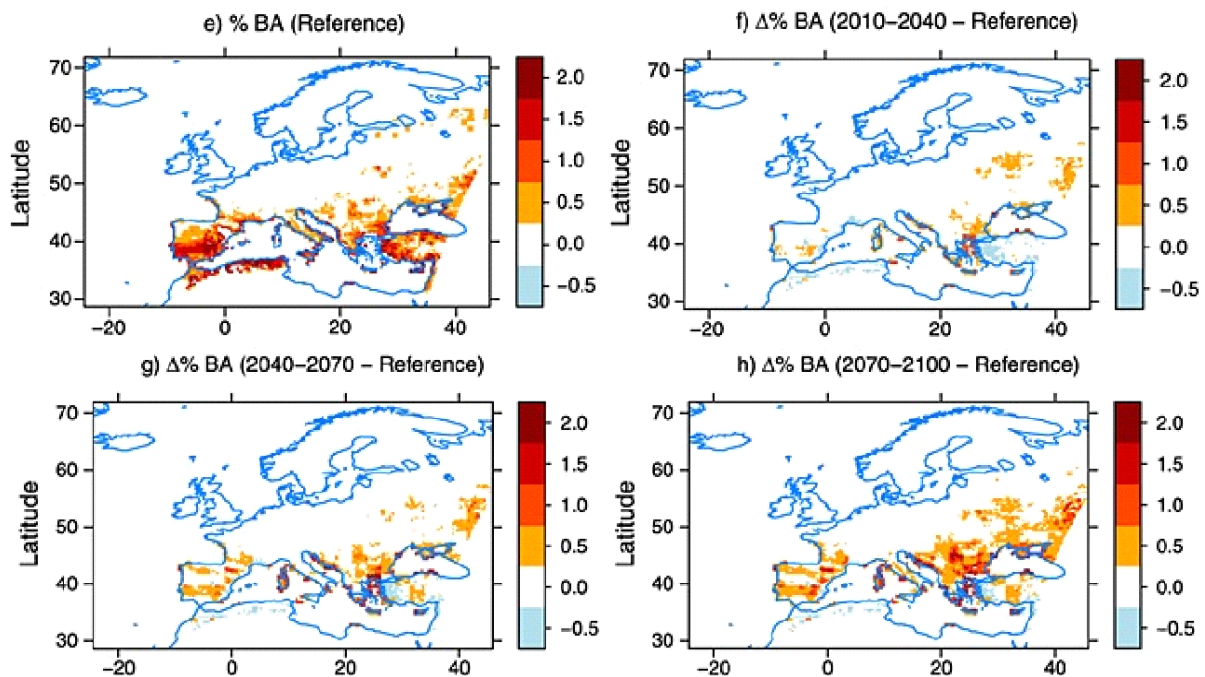


Figura 37 – Mappa della frazione di cella percorsa dall'incendio (%BA) per il periodo di controllo (1960-1990) e anomalie per i diversi periodi futuri (2010-2040, 2040-2070, e 2070-2100). Modificato da: Migliavacca et al., 2013

Recentemente, Turco e colleghi (2018) hanno stimato l'area bruciata estiva nell'Europa Mediterranea per fine secolo, considerando tre scenari di riscaldamento globale (1.5°, 2° e 3°C). L'approccio utilizzato in questo lavoro ha visto l'applicazione di un modello statistico che ha stimato l'influenza del clima sull'area bruciata attraverso l'uso dell'indice SPEI (*standardised precipitation evapotranspiration index*) come predittore climatico. Inoltre Turco e colleghi (2018) hanno valutato anche due tipologie di modelli, stazionario (SM) e non stazionario (NSM). Il primo considera esclusivamente i legami diretti fra clima e incendi, mentre il secondo include anche i potenziali effetti indiretti dei cambiamenti indotti dal clima sulla produttività della vegetazione e quindi sulla disponibilità del combustibile.

Lo studio, considerando questo specifico caso di modello non stazionario, riporta un aumento di area bruciata specialmente per lo scenario di riscaldamento a 3°C. La regione PACA sembra essere quella maggiormente colpita dall'aumento, che oscilla fra il 50% in più (scenario 1.5°C) rispetto al periodo di controllo 1971-200 fino al 100% (scenario 3°C) (Figura 38).

Infine, ad oggi pochi studi si sono occupati di simulare gli impatti dei cambiamenti climatici sulle metriche relative alla propagazione degli incendi (e.g. probabilità di ignizione in una data area, lunghezza di fiamma, o ancora dimensione degli incendi) nell'Europa Mediterranea. Un recente lavoro di Lozano e colleghi (2017) ha considerato questi aspetti a livello italiano e per la Corsica. Lo studio ha applicato modelli di propagazione di nuova generazione accoppiati con il modello climatico CMCC-CLM sotto lo scenario di emissione A1B e ha stimato le differenze percentuali delle diverse metriche considerate fra i periodi futuri 2011-2040 e 2041-2070 e il periodo di controllo 1981-2010.

Per quanto riguarda la Corsica, i risultati riportano un decremento in entrambi i periodi, più marcato per quello più prossimo, per quanto riguarda la probabilità che il territorio venga



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MED-Star

percorso dagli incendi e la possibilità che si verifichino grandi incendi in futuro. Si rileva invece un contenuto aumento nella lunghezza di fiamma durante il secondo periodo futuro. La Sardegna, per contro, mostra un aumento sotto il 5% nel secondo periodo di tutte le metriche tranne che per la lunghezza di fiamma. L'aumento della probabilità che il territorio venga percorso dagli incendi e della dimensione dei futuri incendi risulta essere più marcato in Toscana come in tutto il Centro Italia (+7% nel secondo periodo rispetto a quello di controllo), mentre in Liguria come in tutta l'Italia Nord-Occidentale si è rilevato un deciso decremento, comunque sotto il 5%. Tali risultati, spiegano gli autori, sono dovuti alla combinazione fra tipologie arbustive di combustibile (tenute costanti in tutte le simulazioni e i periodi) e agli impatti dei cambiamenti climatici sull'umidità del combustibile e sul regime dei venti, in grado di alimentare e influenzare a diverso grado la propagazione degli incendi e influenzare la lunghezza di fiamma.

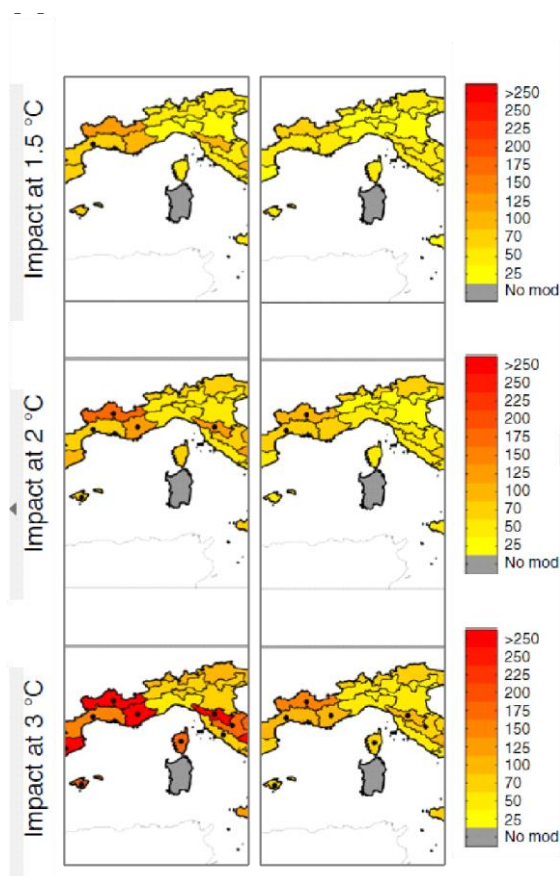


Figura 38 - Cambiamento percentuale nell'area bruciata per gli scenari di aumento della temperatura a 1.5°C, 2°C, 3°C e per il modello stazionario (SM) e non stazionario (NSM). I pallini indicano le aree in cui almeno il 50% delle simulazioni mostrano un cambiamento statisticamente significativo e più del 66% sono in accordo rispetto al verso del cambiamento. Le aree colorate senza pallini indicano che i cambiamenti sono piccoli rispetto alle naturali variazioni. Le zone grigie indicano nessun dato disponibile. Modificato da: Turco et al. (2018)



Interreg



UNIONE EUROPEA



MED-Star

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

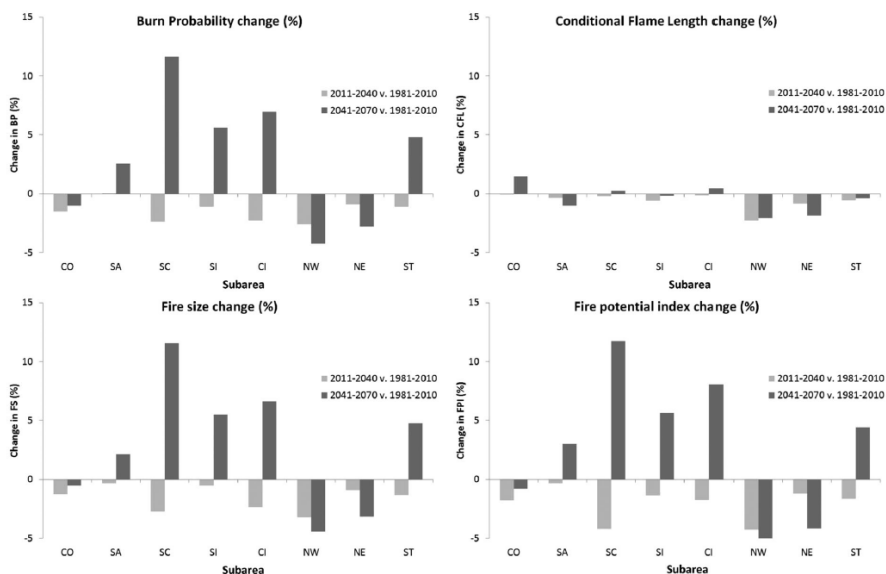


Figura 39 – Variazione nelle metriche relative alla propagazione e comportamento degli incendi (burn probability (BP), conditional flame length (CFL), fire size (FS), and fire potential index (FPI)) fra il periodo di controllo (1981-2010) e i periodi futuri (2011-2040 e 2041-2070). CO=Corsica, SA=Sardegna, SC=Sicilia, SI=Sud Italia, CI=Italia centrale, NW=Italia Nord Occidentale, NE=Italia Nord Orientale, ST=Area studio. Fonte: Lozano et al., 2017



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Riferimenti bibliografici

- Amatulli, G., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., 2013. Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Sci. Total Environ.* 450–451, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.014>
- Bovio, G., Marchetti, M., Tonarelli, L., Salis, M., Vacchiano, G., Lovreglio, R., Elia, M., Fiorucci, P., Ascoli, D., 2017. Forest fires are changing: let's change the fire management strategy. *For. - Riv. di Selvic. ed Ecol. For.* 14, 202–205. <https://doi.org/10.3832/efor2537-014>
- Fargeon, H., Pimont, F., Martin-StPaul, N., De Caceres, M., Ruffault, J., Barbero, R., Dupuy, J.L., 2020. Projections of fire danger under climate change over France: where do the greatest uncertainties lie? *Clim. Change* 160, 479–493. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02629-w>
- Gibelin Anne-Laure; Dubuisson Brigitte; Corre Lola; Deaux Nathalie; Jourdain Sylvie; Laval Laurence; Piquemal Jean-Michel; Mestre Olivier; Denetière Denis; Desmidt Stéphanie; Tamburini Agnès (2014) Évolution de la température en France depuis les années 1950 : constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées, *La Météorologie* 87
- IPCC, 2014. Summary for policymakers, in: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Cambridge University Press, pp. 1–32.
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers, in: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T.W. (Eds.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change.*
- IPCC, 2019. Summary for Policymakers, in: Shukla, P.R., Skea, J., Buendia, E.C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Pereira Portugal, J., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M., Malley, J. (Eds.), *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems.*
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., Van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., 2014. Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geosci. Model Dev.* 7, 1297–1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>
- LaMMA (2010). PAL - Programma di Azione Locale di lotta alla siccità e alla desertificazione. Reperibile al [link](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/desertificazione/Relazione_finale_PAL_Toscana_x2x.pdf)
https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/desertificazione/Relazione_finale_PAL_Toscana_x2x.pdf
- Lionello, P., Scarascia, L., 2018. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Reg. Environ. Chang.* 18, 1481–1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Lozano, O.M., Salis, M., Ager, A.A., Arca, B., Alcasena, F.J., Monteiro, A.T., Finney, M.A., Del Giudice, L., Scoccimarro, E., Spano, D., 2017. Assessing Climate Change Impacts on Wildfire Exposure in Mediterranean Areas. *Risk Anal.* 37, 1898–1916. <https://doi.org/10.1111/risa.12739>
- Merrill, D.F., Alexander, M.E., 1987. Glossary of forest fire management terms. Ottawa, ON.
- Migliavacca, M., Dosio, A., Camia, A., Hobourg, R., Houston-Durrant, T., Kaiser, J.W., Khabarov, N., Krasovskii, A.A., Marcolla, B., San Miguel-Ayanz, J., Ward, D.S., Cescatti, A., 2013. Modeling biomass burning and related carbon emissions during the 21st century in Europe. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 118, 1732–1747. <https://doi.org/10.1002/2013JG002444>
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- OUZEAU, G., DÉQUÉ, M., JOUINI, M., PLANTON, S., VAUTARD, R. 2014. Scénarios régionalisés :

- édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Le climat de la France au XXI^e siècle, Volume 4, Août 2014, rapport de la mission Jean Jouzel, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Direction générale de l'Énergie et du Climat, 64 pp.
- Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M. V., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V., Zavatarelli M., 2020. "Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia". DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO
- Spano et al. (2014) Recent trends in forest fires in Mediterranean areas and associated changes in fire regimes. In: Moreno J, editor. Forest fires under climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world. FUME. Lesson learned and outlook; 2014. p. 6–7.
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J.J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J.P., Llasat, M.C., Provenzale, A., 2018. Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. Nat. Commun. 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. (2011) The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change 109, 5 <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Varela, V., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., Karozis, S., Politi, N., Giroud, F., 2019. Projection of Forest Fire Danger due to Climate Change in the French Mediterranean Region. Sustainability 11, 4284. <https://doi.org/10.3390/su11164284>
- Wu, M., Knorr, W., Thonicke, K., Schurgers, G., Camia, A., Arneth, A., 2015. Sensitivity of burned area in Europe to climate change, atmospheric CO₂ levels, and demography: A comparison of two fire-vegetation models. J. Geophys. Res. Biogeosciences 120, 2256–2272. <https://doi.org/10.1002/2015JG003036>

Sitografia

- <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-tourism-fire-danger-indicators-projections?tab=app>
- <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/miscellanea/ReportClima1981-2010.pdf>
- <https://delibere.regione.sardegna.it/protected/45525/0/def/ref/DBR45368/>
- https://www.researchgate.net/publication/264539774_Clima_che_cambia_-_Uno_sguardo_sulla_Toascana
- https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/desertificazione/Relazione_finale_PAL_Toscana_x2x.pdf
- https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/clima/atlante/Atlante_climatico_della_Liguria.pdf
- <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>