

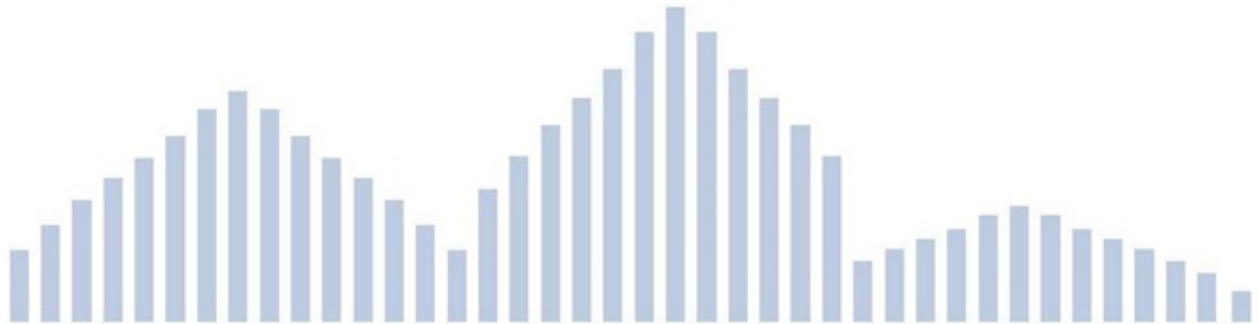


Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Profil climatique local de la commune de Sassari





Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduction	3
Evolution dans le temps de la variabilité climatique observée	5
Scénarios climatiques locaux disponibles	13
Conclusions	27
Glossaire	29
Annexe 1: Méthode REA - Reliability ensemble averaging	32
Bibliographie	37
Liens vers les sites web	39

Ce document a été élaboré par la Fondation « Centre Euro-Méditerranéen sur le Changement Climatique » (CMCC).

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduction

Ce document a pour but de décrire le profil climatique local de la commune de Sassari, sur la base des observations et des projections climatiques disponibles à l'heure actuelle.

Cette analyse du climat permet de caractériser la variabilité climatique locale observée et, lors des étapes suivantes de l'étude, d'évaluer les anomalies climatiques futures attendues au niveau local en raison du changement climatique.

Pour ce qui est de la variation climatique à l'échelle mondiale, la communauté scientifique estime qu'il est "hautement probable" que l'activité anthropogénique serait la cause principale du réchauffement de l'air et des océans, de la réduction de l'extension et du volume des glaciers, de l'élévation du niveau des mers et de la réduction de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord (IPCC, AR4, 2007). Toutefois, l'étude de cette variation ne fera pas l'objet de ce document qui, par contre, se concentre sur l'analyse du climat observé et de possibles scénarios de changement sur la ville en question.

L'étude du climat implique, par définition, l'utilisation d'échelles temporelles longues; en particulier, l'Organisation Mondiale de la Météorologie (WMO, 2007) fixe à 30 ans la longueur standard sur laquelle effectuer des analyses statistiques qui peuvent être ensuite considérées comme représentatives du climat. Par conséquent, les variations du climat futur par rapport au climat présent (ou de référence) sont obtenues en comparant des périodes de 30 années.

La section *Evolution dans le temps de la variabilité climatique observée* présente l'analyse des données observées. En particulier, cette analyse a été effectuée pour la période 1981-2010 à partir des données de température (minimum et maximum) et de précipitation de la *station de Sassari*, dont la source est représentée par *A.R.P.A.S.- Dipartimento Meteorologico*. Cette analyse décrit la variabilité temporelle au sein de la période, tant des valeurs moyennes que de des extrêmes de précipitation et température. Les extrêmes sont définis comme des valeurs des variables atmosphériques s'écartant de la moyenne climatologique, et sont déterminées par le biais de seuils (par exemple, percentiles, valeurs minimales et maximales). Les différentes études montrent que le changement climatique entraîne également une variation dans la fréquence et la gravité des événements extrêmes, dont dépend la plupart des coûts sociaux et économiques associés au changement climatique.

Parallèlement à la description du climat local observé, en ce qui concerne les valeurs moyennes et celles des extrêmes, les anomalies climatiques attendues pour les indicateurs sélectionnés sont présentées sur la base de différents scénarios climatiques, sur des périodes futures de trente ans (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) par rapport à la période de référence 1981-2010.

Dans cette étude, les anomalies des indicateurs sélectionnés ont été calculées, en considérant les deux scénarios différents RCP4.5¹ et RCP8.5², à partir des données simulées des modèles

1Le scénario IPCC RCP4.5 (stabilisation moyenne-faible) prévoit que d'ici à 2070, les émissions de CO₂ vont descendre en dessous des niveaux actuels et la concentration atmosphérique va se stabiliser d'ici à la fin du siècle à environ le double par rapport aux niveaux préindustriels.

2Le scénario IPCC RCP 8.5 (émissions élevées) prévoit que d'ici à l'an 2100, les concentrations atmosphériques de CO₂ seront multipliées par trois ou quatre par rapport aux niveaux préindustriels.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

climatiques régionaux, actuellement disponibles dans le cadre du programme EURO-CORDEX, à la plus haute résolution spatiale, d'environ 12 km. Pour plus d'informations sur l'initiative EURO-CORDEX, veuillez consulter le lien suivant: <http://www.euro-cordex.net>.

Les modèles climatiques régionaux permettent d'augmenter la résolution spatio-temporelle des modèles de circulation globale et de formuler des scénarios de changement climatique plus détaillés, avec toutefois un certain degré d'incertitude. En particulier, l'estimation des variations de précipitation, au sens tant spatial que temporel, est plus incertaine que celle des variations de température; les estimations des variations des événements extrêmes en sont quant à elles d'autant plus incertaines (MATTM, SNACC, *Rapporto sullo stato delle conoscenze*, 2014).

L'utilisation d'un ensemble composé de différents modèles de simulation (*multi-model ensemble*), bien que plus onéreuse du point de vue méthodologique et informatique, permet une meilleure estimation de l'incertitude à associer au scénario de variation de l'indicateur climatique (variable) considéré.

Dans cette étude, les analyses de la variabilité climatique future ont été élaborées en utilisant une approche multi-modèles, comme cela a été fait à l'occasion de différentes études publiées récemment (Jacob,2014), (Kotlarski, 2014).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Evolution dans le temps de la variabilité climatique observée

La commune de Sassari, comme indiqué dans le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC, 2017) et sur la base des données E-OBS (Haylock et al. 2000), fait partie de la macrorégion 6, qui regroupe les régions insulaires et l'extrême sud de l'Italie. Cette macrorégion s'avère être l'endroit du territoire italien en moyen le plus chaud et sec, c'est-à-dire marqué par la plus haute température moyenne et le plus haut nombre de jours annuels consécutifs sans pluie, avec des précipitations estivales en moyenne plus faibles et, en général, des événements extrêmes de précipitation moins fréquents et de magnitude inférieure.

Etant représentative d'une résolution d'environ 28 km, la climatologie décrite par la série de données E-OBS est en mesure de détecter, au niveau du macroclimat, les modèles climatiques prépondérants sur le territoire national, nonobstant la caractérisation du climat local nécessite quant à elle des analyses plus ciblées. Afin de mieux appréhender les aspects les plus locaux du climat de Sassari, l'analyse des conditions climatiques sur la zone d'intérêt a été menée en tenant compte des données journalières relatives aux valeurs de température minimale, maximale et de précipitation enregistrées à la station de Sassari, qui se trouve dans une localité appelée Serra Secca (SS). La position géographique de la station disponible pour la commune de Sassari est indiquée à la Figure 1.



Figure 1: Position géographique de la station météo (source: ARPAS) disponible pour la commune de Sassari.

Les séries de données disponibles pour la période 1981-2010 ont fait l'objet d'un contrôle de qualité et d'homogénéité qui peut être résumé dans les étapes suivantes:

- **Analyse de l'exhaustivité des données.** Pour chaque résolution temporelle, on contrôle la présence d'au moins 75% de données disponibles, puisque dans le cas où ces données feraient défaut (*missing*), les analyses obtenues pourraient ne pas être représentatives, évidemment faussées voire même totalement erronées.



- **Identification et élimination des valeurs anormales.** Cette procédure, qui consiste en l'identification et l'élimination des incohérences dans la série de données observées, consécutives à des facteurs extérieurs non climatiques, a été réalisée au moyen de deux tests non-paramétriques, celui de Pettitt et celui du CUSUM (CUMulative SUM) (ISPRA, 2013).

Ces contrôles sont essentiels afin d'exclure tout changement climatique artificiel qu'on pourrait attribuer au déplacement de la station de mesure, au remplacement de l'instrumentation, à des changements dans l'exposition de l'instrument ou à l'adoption de nouveaux protocoles d'élaboration de données. Le changement climatique artificiel peut causer des incohérences qui se manifestent sous forme d'une tendance artificielle au sein de la série (ISPRA, 2013). Le Tableau 1 ci-dessous indique le nombre total d'années avec des données valables (pourcentage de données manquantes inférieur à 25%), pour la station de Sassari et pour chaque variable considérée: 11 années ont été exclues pour les températures (minimales et maximales) et 6 années pour les précipitations, le pourcentage de données non valables étant supérieur à 25%.

Tableau 1: Nombre total d'années avec données valables (pourcentage de données manquantes inférieur à 25%), pour chaque variable considérée. De même, les années avec données non valables sont identifiées (pourcentage de données manquantes supérieur à 25%).

	Station de Sassari	
	Température	Précipitations
Nombre maximum d'années	30	30
Nombre total d'années disponibles	19	24
Exhaustivité	63%	80%
Années avec données non valables	1981,1982,1983,1984 2004,2005,2006,2007 2008,2009,2010	1981,1982,1983 1984,1985,2010

En aval des contrôles de qualité et d'homogénéité des données sur place, et afin de décrire la variabilité climatique observée, plusieurs analyses statistiques et climatiques ont été effectuées. En particulier, les résultats principaux sont les suivants:

- ✓ moyenne mensuelle, sur la période de référence, de température et de précipitation (cycle saisonnier), avec dispersion par rapport au 5^e et au 95^e percentile de la distribution mensuelle;
- ✓ valeurs moyennes (annuelles et saisonnières) de température et de précipitation cumulée;
- ✓ 95^e e 99^e percentile de la précipitation journalière et de la température maximale journalière, 1^{er} et 5^e percentile de la température minimale journalière;



- ✓ séries temporelles annuelles de température et précipitation avec tendance et évaluation de la signification statistique par le biais du Test de Mann-Kendall (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945), nécessaire pour l'identification d'une tendance de croissance/décroissance significative;

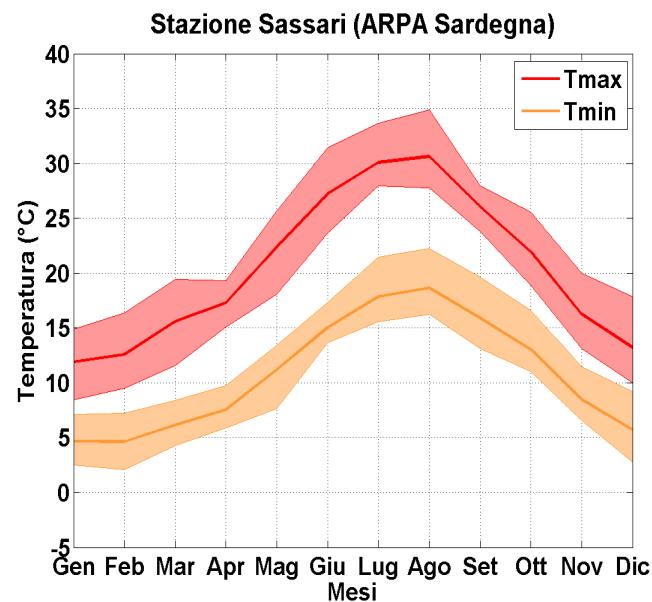


Figure 2: Cycle saisonnier des températures, minimales et maximales. La partie colorée indique la dispersion par rapport au 5° et au 95° percentile de la distribution mensuelle sur la période de référence.

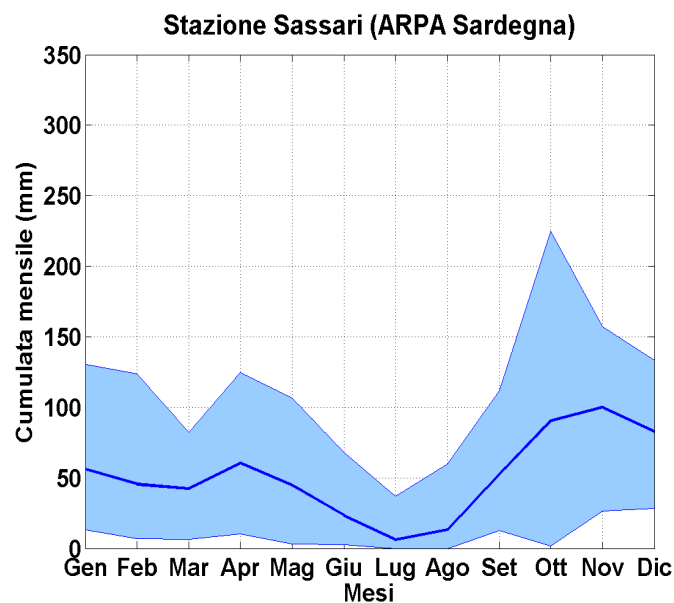


Figure 3: Cycle saisonnier des précipitations cumulées mensuelles. La partie colorée indique la dispersion par rapport au 5° et au 95° centile de la distribution mensuelle sur la période de référence.



La Figure 2 montre les cycles saisonniers (évolutions des moyennes mensuelles) de température minimale (Tmin) et maximale (Tmax), alors que la Figure 3 indique les cycles de précipitation (Pr). Pour chaque variable on indique également la dispersion des données par rapport au 5^e et au 95^e percentile de la distribution mensuelle. Comme le montre la Figure 2, le graphique souligne que les températures ont des valeurs plus basses aux mois de décembre et janvier (avec une Tmin aux environs de 5°C et Tmax aux environs de 12°C); alors que temps, les valeurs maximales sont, elles, enregistrées entre juillet et août, avec la Tmax qui atteint à peu près 30°C et la Tmin 14°C. Le printemps et l'automne montrent des valeurs intermédiaires et comparables. Par ailleurs, les mois de janvier, février et mars indiquent une dispersion majeure en termes de températures minimales et maximales (comme indiqué à la Figure 2).

En ce qui concerne les précipitations (Figure 2), les valeurs sont calculées en cumulant les données journalières sur base mensuelle. Pour ce qui est des précipitations, l'on observe différents pics annuels: un premier en octobre (d'environ 90 millimètres/mois), un second en novembre (d'environ 100 millimètres/mois) et un troisième, moins intense, en avril (d'environ 60 millimètres/mois). Octobre représente le mois caractérisé par la plus haute dispersion; en effet, pour le mois d'octobre, le 95^e percentile est d'environ 220 millimètres alors que la valeur moyenne n'est que de 90 millimètres. Au mois de juillet, on a enregistré les valeurs mensuelles les plus basses, avec environ 10 millimètres/mois.

On indique également les séries temporelles annuelles de température maximale et minimale, les seules pour lesquelles le test de Mann-Kendall a montré un test significatif (à un niveau de signification de 95%) sur la période d'analyse. La température maximale pendant la période 1985-2003 montre une tendance à la hausse (tendance=0.13) alors que la température minimale montre une légère diminution (tendance =-0.09).

L'évolution de l'anomalie de température minimale et maximale (Figure 5) montre des pics d'anomalie annuelle de 2.5 °C pour la température maximale pour les années 1995 et 2003. Finalement, les valeurs moyennes de température (minimale et maximale) et de précipitation cumulée sur échelle annuelle et saisonnière sont indiquées dans le Tableau 2 également. En termes de température, l'on observe une température maximale moyenne d'environ 30°C pendant l'été et une température minimale moyenne d'environ 5°C pendant l'hiver. En revanche, en termes de précipitation, l'automne s'avère être la saison la plus pluvieuse (avec 243 millimètres), tandis que l'été est caractérisée par des précipitations faibles d'environ 43 millimètres.

Tableau 2: Valeurs moyennes (saisonnières et annuelles) de précipitations cumulées (Pr), de température maximale (Tmax) et de température minimale (Tmin).

	Station de Sassari		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PR (mm)
Hiver (DJF)	5.0	12.7	177
Printemps (MAM)	8.3	18.4	148
Eté(JJA)	17.2	29.4	43
Automne (SON)	12.5	21.5	243
Annuelle	10.8	20.5	618

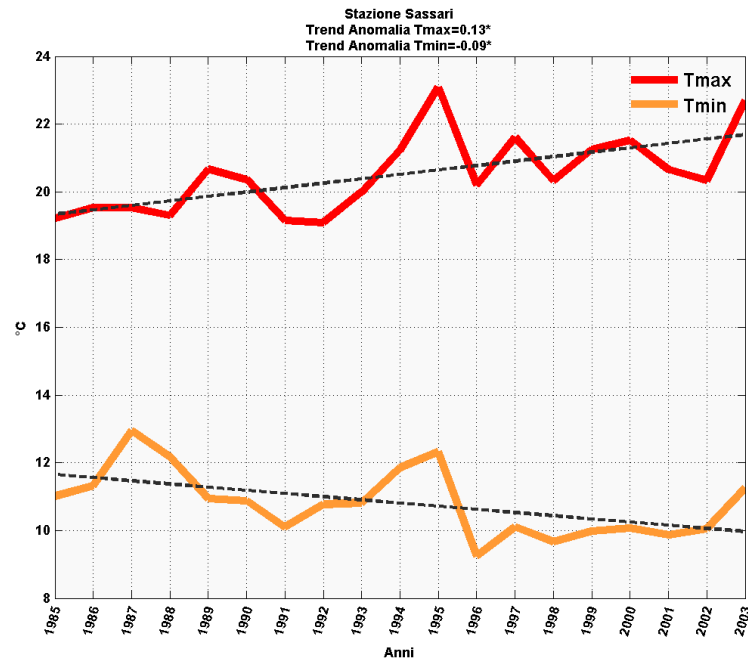


Figure 4: Série temporelle annuelle de la température maximale (Tmax) et de la température minimale (Tmin) pour la station de Sassari. En noir la ligne de tendance (les tendances qui sont statistiquement significatives sont marquées par un astérisque).

Bien que les valeurs moyennes soient fondamentales pour la définition des caractéristiques climatiques moyennes, les valeurs extrêmes sont normalement en mesure de générer les niveaux de criticité les plus hauts sur le territoire, avec une magnitude et des caractéristiques différentes, surtout en fonction du contexte géomorphologique et infrastructurel. Pour cette raison, au Tableau 3 ont été indiquées, sur base annuelle, les valeurs correspondant au 95^e et 99^e percentiles des distributions de précipitation (Pr) et température maximale (Tmax) et aux 1^{er} et 5^e percentiles de la distribution de température minimale (Tmin). Les percentiles montrent l'intensité des valeurs les plus extrêmes, dans ce cas observées, avec informations indirectes de grande utilité pour les études d'impact et pour le dimensionnement des infrastructures.

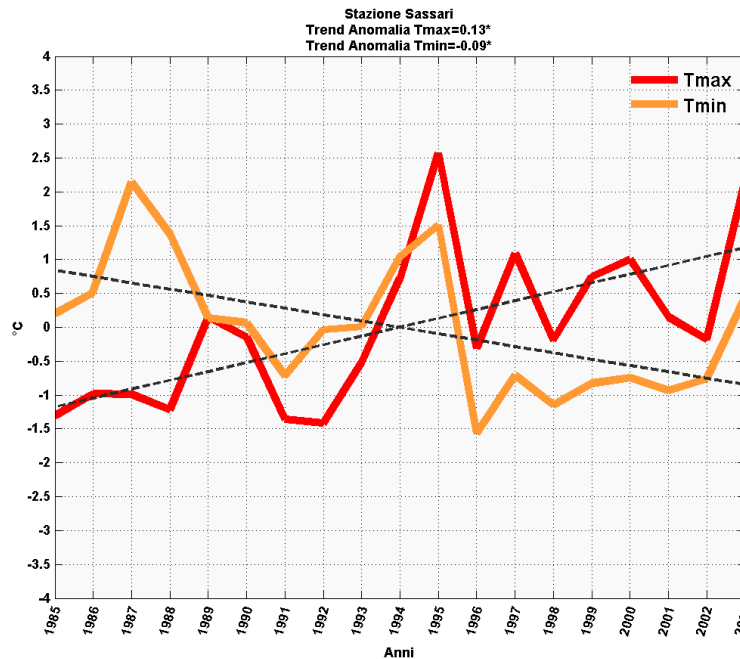


Figure 5: Evolution temporelle de l'anomalie de température maximale (Tmax) et de température minimale (Tmin) par rapport à la valeur moyenne sur la période d'analyse pour la station de Sassari. En noir la ligne de tendance (les tendances statistiquement significatives sont marquées par un astérisque).

Tableau 3: Valeurs correspondant aux 95^e et 99^e percentiles des distributions de précipitation (Pr) et température maximale (Tmax) et aux 1^{er} et 5^e percentiles de la distribution de température minimale (Tmin).

	Station de Sassari		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pr (mm)
1 ^{er} percentile	0	/	/
5 ^e percentile	2.5	/	/
95 ^e percentile	/	33	27
99 ^e percentile	/	36	45

Pour des finalités comparables, différents indicateurs synthétiques (moyens et/ou extrêmes) sont communément utilisés dans la littérature pour l'étude des caractéristiques du climat local et pour détecter l'éventuelle présence d'un changement climatique déjà en cours. Les événements extrêmes sont définis comme ceux qui, par leurs caractéristiques et de façon substantielle, s'écartent de la moyenne climatologique de la zone. Ils peuvent être analysés par une série d'indicateurs définis dans la littérature, par exemple ceux qui sont mis à disposition par



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ETCCDI³. Ces indicateurs décrivent essentiellement l'intensité et la fréquence des événements extrêmes en termes de précipitation et température ; ils seront certainement très utiles pour des futures études sectorielles, visant à l'évaluation des principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquels les stratégies d'adaptation reposent.

Au Tableau 4 sont indiqués quelques indicateurs ETCCDI [J], sélectionnés pour décrire la variabilité climatique de la zone géographique d'intérêt.

Tableau 4: acronyme utilisé et définition correspondante des indicateurs utilisés pour l'analyse des extrêmes.

Acronyme	Indicateur
HW/HD	(hot wave ou warm days) nombre de jours par an avec température maximale journalière supérieure à 35°C
FD	(frost days) nombre de jours de gel définis comme nombre de jours par an avec température minimale journalière inférieure à 0°C
R10	nombre de jours par an avec précipitation maximale
PRCPTOT	cumul (somme) des précipitations annuelles pour les jours avec précipitations supérieures ou égales à 1 mm
SDII	précipitations moyennes journalières dans les jours avec précipitations supérieures ou égales à 1 mm
RX5DAY	maximum de précipitation sur 5 jours consécutifs sur une échelle annuelle
HI	Nombre de jours d'inconfort thermique dû aux températures élevées (basé sur la température maximale journalière et sur l'humidité relative)
CDD	nombre maximal de jours consécutifs par an avec précipitations inférieures à 1 mm
CWD	nombre maximal de jours consécutifs par an avec précipitations supérieures ou égales à 1 mm
RRI	nombre de jours par an avec pluie supérieure ou égale à 1 millimètre

La station de Sassari est caractérisée par un nombre moyen de jours par an ayant une température minimale inférieure à 0°C (FD) égal à 2, alors que le nombre de jours par an avec température maximale journalière supérieure à 35°C (HW) est égal à 5.

En termes de précipitation, la ville de Sassari est caractérisée par environ 60 jours annuels consécutifs sans pluie (CDD) et par une précipitation moyenne journalière dans les jours avec précipitation supérieure à 1 mm (SDII) relativement faible (9 mm). Les valeurs moyennes des indicateurs sélectionnés pour la période observée 1981-2010 sont indiquées au Tableau 5 (à l'exception de l'indicateur Humidex, dont le calcul nécessite la disponibilité de la variable humidité relative qui, pour les données observées, n'a pas été prise en compte).

Par comparaison des résultats obtenus, à partir des données enregistrées par la station de Sassari, avec les caractéristiques climatiques de la macrorégion 6 présentée dans le document PNACC, on obtient des valeurs moyennes de température semblables (la température moyenne annuelle identifiée dans la macrorégion 6 est de 16°C, alors que à Sassari on

³Ces indicateurs estiment les caractéristiques d'événements identifiés comme "*moderately rare weather events*", et ils incluent la fréquence, l'intensité et la persistance d'une condition atmosphérique; ils sont très utilisés pour évaluer la variation de ce type d'événements dans le cadre du changement climatique.



observe une température minimale de 10.8 °C et une température maximale de 20.5 °C). En termes de précipitation, pour la macrorégion 6, on observe des valeurs moyennes de précipitation hivernale (PR DJF) d'environ 179 mm (avec déviation standard +/-61 mm) et un nombre maximal moyen de jours consécutifs (CDD) de 70 jours (avec déviation standard de +/- 16 jours).

Tableau 5: Valeurs moyennes des indicateurs sélectionnés pour la période observée 1981-2010.

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

La Figure 6 montre la série temporelle annuelle de l'indicateur HW (nombre de jours par an avec température maximale journalière supérieure à 35 °C), la seule pour laquelle le test de Mann Kendall a montré un test significatif (au niveau de signification de 95%) sur la période de référence 1981-2010. Comme indiqué à la Figure 6, on observe une tendance à la hausse (tendance=0.74).

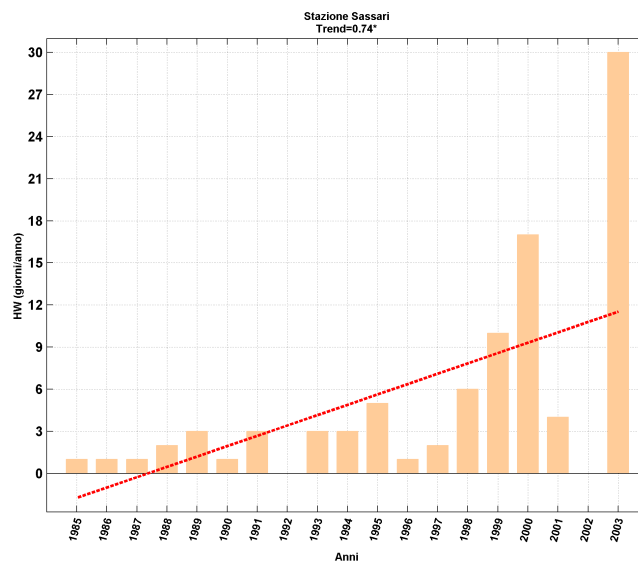


Figure 6: Série temporelle annuelle de l'indicateur hw pour la station de Sassari (ARPAS). En rouge la ligne de tendance.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Scénarios climatiques locaux disponibles

Pour évaluer le climat à une échelle régionale, on a essentiellement deux techniques de “régionalisation”: la méthode statistique et la méthode dynamique. Etant donné que les deux techniques diffèrent quant à l’approche, aux charges computationnelles, aux prérequis et limitations, elles présentent différents avantages et inconvénients.

Les techniques statistiques sont fondées sur l’utilisation de relations statistiques entre les prédictors synoptiques (à grande échelle) et les prédictors locaux. Ces derniers sont obtenus à partir de longues séries temporelles d’observations des variables d’intérêt utilisées pour dériver et valider des relations statistiques et ils présentent en outre l’avantage de permettre d’arriver jusqu’au niveau d’un point ou d’une station.

Les techniques de *downscaling* dynamique, en revanche, recourent à des modèles numériques à aire limitée. Etant fondés sur des lois physiques, ces modèles sont généralement en mesure de donner une bonne réponse, à l’échelle locale, au réchauffement climatique et à l’augmentation de la concentration de gaz à effet de serre prévus pour l’avenir. Cependant, ils ne sont parfois pas en mesure de capturer des variations très locales, spécialement à cause de la résolution des paramètres choisis.

Par ailleurs, différentes études de la littérature montrent que la résolution spatiale de ces modèles, actuellement d’environ 10 km, et la capacité d’avoir une bonne prévisibilité à l’échelle journalière, les désignent comme les plus appropriés à utiliser comme input aux modèles d’impact, pour évaluer quantitativement comme le changement climatique va affecter leur variation (en terme de fréquence et de magnitude).

Dans cette étude, les analyses des projections du changement climatique à l’échelle locale sont réalisées au moyen des résultats obtenus en Italie avec la technique du “*downscaling* dynamique” (régionalisation dynamique). Plus spécifiquement, les données simulées par les différents modèles climatiques régionaux disponibles dans le programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) ont été utilisées.

Ces simulations permettent, selon le scénario IPCC sélectionné pour ce qui concerne l’évolution future prévue pour la concentration de gaz déstabilisateurs du climat d’ici 2100 (Van Vuuren et al., 2011), d’évaluer l’évolution attendue des paramètres atmosphériques d’intérêt, spécialement la température et les précipitations. Les projections climatiques futures ont été obtenues en considérant deux scénarios différents IPCC: RCP4.5 et RCP8.5 afin d’évaluer la valeur moyenne (*ensemble mean*) des projections climatiques par rapport aux deux scénarios considérés et l’incertitude associée (Kotlarski et al. 2014, Jacob et al. 2014).

L’utilisation de tous les modèles disponibles dans le programme EURO-CORDEX, bien qu’elle soit plus onéreuse du point de vue méthodologique et computationnel, permet d’effectuer une estimation de l’incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou indicateur climatique d’intérêt. A cet égard, on consultera la littérature de référence pour davantage de détails.

Les variations des valeurs moyennes et extrêmes de température et précipitation attendues pour la ville en question, indiquées ci-dessous, ont été calculées à partir de la moyenne spatiale d’un nombre limité de nœuds au sein de la grille du modèle qui délimite la commune de



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Sassari. En particulier, pour caractériser les anomalies climatiques envisagées, on a sélectionné une zone constituée par 9 points de la grille pour les modèles de simulation, centrée sur le point d'observation disponible.

Ce paragraphe présente les anomalies des variables climatiques et des indicateurs sélectionnés sur trois périodes de trente années futures d'intérêt, par rapport à la période de référence 1981-2010. Les périodes de trente années sélectionnées, largement utilisées en littérature, sont les suivantes:

- A. 2011-2040 (court terme)
- B. 2041-2070 (moyen terme)
- C. 2071-2100 (long terme)

Les anomalies, obtenues comme différence entre les valeurs moyennes des indicateurs dans les périodes à venir et dans celle de référence 1981-2010, sont indiquées en tant que valeur absolue pour la température et en pourcentage pour les précipitations. Les anomalies climatiques se produisent sur la différence entre deux périodes, l'une à venir et l'autre de référence, toutes les deux ayant une durée de 30 années. Cette longueur est considérée comme appropriée pour la caractérisation tant des valeurs moyennes que des extrêmes des variables atmosphériques d'intérêt (IPCC 2013a).

Dans cette section, en suivant une approche multi-modèles et multi-scénarios, l'on a obtenu les résultats suivants:

- ✓ moyenne (obtenue par les différents modèles disponibles) des anomalies saisonnières et annuelles des variables d'intérêt pour les différentes périodes futures et pour les différents scénarios IPCC sélectionnés;
- ✓ moyenne (obtenue par les différents modèles disponibles) des anomalies annuelles des indicateurs sélectionnés pour les différentes périodes futures et pour les différents scénarios IPCC sélectionnés;
- ✓ dispersion autour d'une valeur moyenne des indicateurs sélectionnés (approche multi-modèle). L'ampleur de la dispersion a été obtenue en utilisant la déviation standard des variables (ou des indicateurs climatiques).

En première analyse, on trouve dans le Errore: sorgente del riferimento non trovata 6 les valeurs des anomalies (en termes de moyenne des anomalies des différents modèles) annuelles et saisonnières de température et précipitation pour les trois périodes d'intérêt et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5, pour la zone incluant la commune considérée. Ce Tableau montre que, en termes de précipitation, une diminution des précipitations annuelles à moyen et à long terme est envisagée. En particulier, les scénarios indiquent une diminution des précipitations printanières et estivales généralement supérieure si l'on considère le scénario RCP8.5, qui est plus forte dans la période 2071-2100. En termes de température, l'on s'attend à une hausse générale d'intensité croissante à long terme et même plus élevée si l'on considère le scénario RCP8.5. En considérant les deux scénarios, l'augmentation la plus forte est prévue en été dans les 3 périodes analysées; en particulier, pour ce qui est du scénario RCP8.5, dans la période à long terme, on atteint, en moyenne, une augmentation des valeurs de température, même supérieure à 4°C en été.



De même, une analyse de l'ensemble mean des anomalies (Figures 7-8) des indicateurs extrêmes de température et précipitation a été réalisée.

En termes de température, la Figure 7 montre qu'il est évident qu'à l'avenir, l'on s'attend à une augmentation des températures, plus marquée dans la période à long terme et en considérant le scénario RCP8.5 (plus pessimiste); en particulier, la Figure 7 souligne une forte hausse du nombre de jours par an avec températures maximales supérieures à 35 °C (hw) et avec une température journalière ressentie supérieure ou égale à 45°C (humidex5). En outre, la commune de Sassari affectée par une réduction du nombre de jours par an avec température minimale inférieure à 0 °C (fd).

Tableau 6: Anomalies (en termes de moyenne des anomalies des différents modèles) annuelles et saisonnières de température (moyenne, minimale et maximale, en °C) et précipitation (%) pour les deux scénarios et les trois périodes d'intérêt, pour la zone qui inclut la commune de Sassari.

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

En termes de précipitation, la Figure 8 montre que l'on s'attend à une augmentation de l'intensité des précipitations (sdii), des cumuls maximaux de précipitation sur 5 jours (rx5day) et du nombre maximal de jours consécutifs par an avec précipitation mineure d'1 millimètre (cdd), plus marqué selon le scénario RCP8.5 et en considérant la période 2071-2100. Par contre, en général, l'on s'attend à une réduction du nombre de jours de pluie (rr1) et du nombre maximal de pluie consécutifs par an (cwd). Par ailleurs, à long terme, d'après le scénario RCP8.5, l'on s'attend à une diminution du nombre de jours avec précipitations supérieures ou égales à 10 mm (r10) et de précipitations annuelles dans les jours de pluie (prcptot) avec pluie > 1mm.

En annexe 1, on montre les mêmes résultats obtenus en termes de moyenne pondérée des différents modèles qui concourent à l'évaluation des différents indicateurs en utilisant l'approche expérimentale fournie par Giorgi et Mearns (2002), connue comme "REA" (Reliability Ensemble



Averaging). Cette approche, plus spécifiquement, repose sur l'hypothèse d'accorder une plus grande importance aux modèles démontrant les meilleures performances sur le présent, lors de la représentation des évolutions des variables d'intérêt (moyennes et extrêmes).

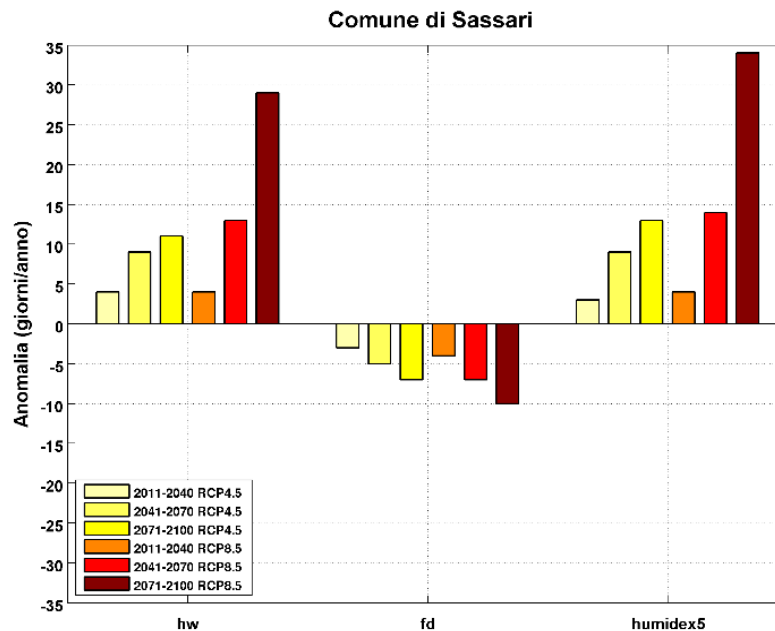


Figure 7: Anomalies des indicateurs de température pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes à venir par rapport à la période de référence 1981-2010

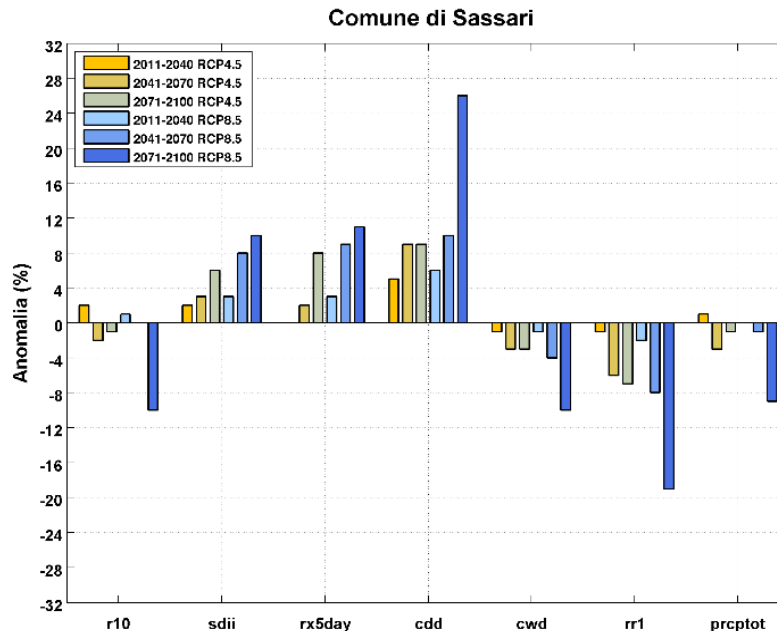


Figure 8: Anomalies des indicateurs de précipitation pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.

Dans la suite de l'étude, on a utilisé le test de Mann-Kendall (Kendall,1975), ayant un niveau de confiance de 95%, pour évaluer la signification statistique des tendances de croissance/décroissance au niveau communal des indicateurs susmentionnés calculés à partir des modèles EURO-CORDEX.

Les Figures de 9 à 17 montrent la série temporelle des valeurs annuelles des indicateurs extrêmes de température (Figures de 9 à 11) et précipitation (Figures de 12 à 17) et les valeurs de la tendance de l'*ensemble mean* des modèles EURO-CORDEX pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5: les tendances statistiquement significatives sont marquées par un astérisque. Les parties grisées dans ces Figures représentent la gamme d'incertitude obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard de la distribution des données simulées par les modèles EURO-CORDEX. En outre, on a associé à chaque Figure un Tableau contenant le nombre moyen de modèles relevant de la gamme d'incertitude.

En termes de température, la Figure 9, conformément au scénario RCP8.5, montre une augmentation de l'indicateur hw, alors que l'augmentation est plus faible selon le scénario RCP4.5. Les parties grisées montrent une dispersion légèrement plus ample sur la période à long terme, qui s'avère être plus évidente pour le scénario RCP8.5. Moyennement, 11 modèles sur 18 relèvent de la gamme d'incertitude.



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

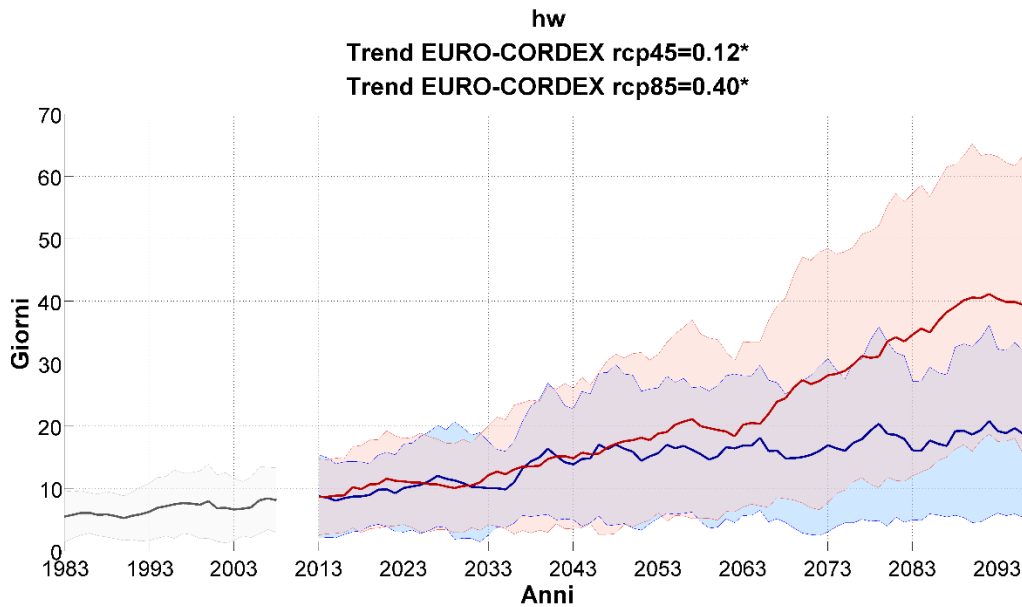


Figure 9: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur hw, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	11/18	11/18	11/18



Dans la Figure 10, conformément aux deux scénarios, on remarque une diminution de l'indicateur fd, plus significative pour le scénario RCP8.5. Egalement, on remarque que la dispersion se restreint sur la période à long terme, surtout pour le scénario RCP8.5. En moyenne, la plupart des modèles sont compris dans la gamme d'incertitude.

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

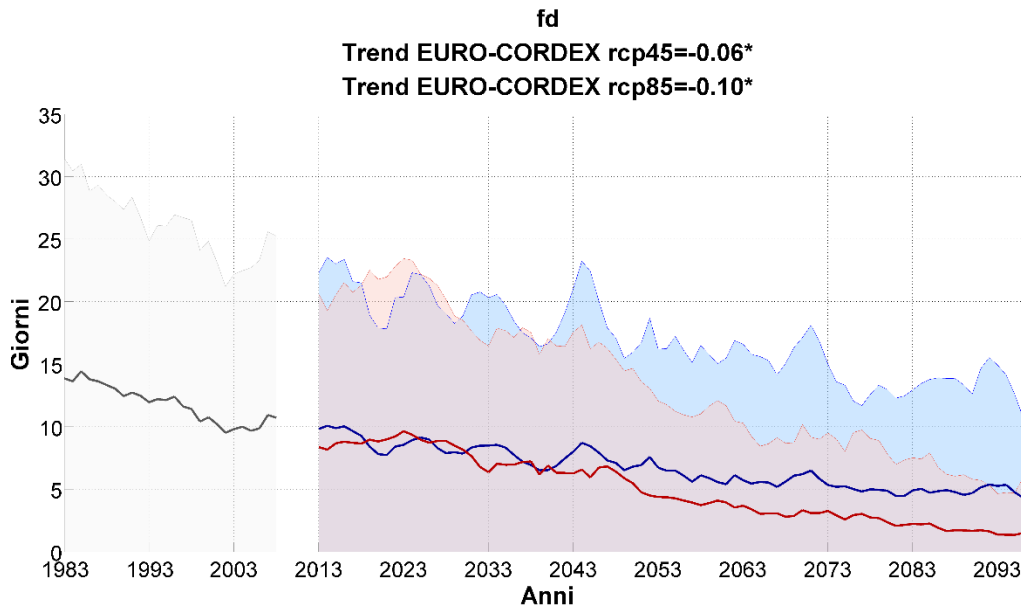


Figure 10: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur fd, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	17/18	17/18	16/18



Finalmente, à la Figure 11, conformément aux deux scénarios, on note une augmentation de l'indicateur humidex5, plus marquée dans la période à long terme et selon le scénario RCP8.5. Pour ce qui est de la dispersion des modèles autour de l'*ensemble mean*, en général la gamme d'incertitude est large et, en moyenne, presque tous les modèles relèvent d'elle. Le scénario RCP8.5 présente une réduction de la gamme d'incertitude sur la période à long terme.

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

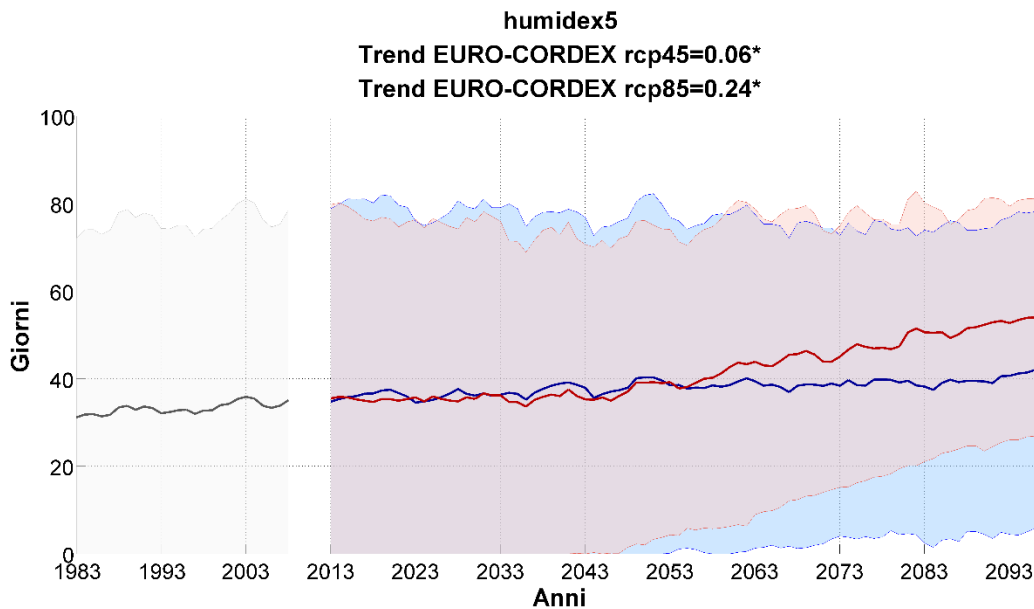


Figure 11: Projections climatiques dei modelli EURO-CORDEX pour l'indicateur humidex5, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	12/12	12/12	11/12



En termes de précipitation, on remarque une tendance à la croissance statistiquement significative pour les indicateurs sdii (Figure 12), rx5day (Figure 13), cdd (Figure 15) et rr1 (Figure 16) d'après les deux scénarios, tandis que, pour l'indicateur cwd (Figure 14), le scénario RCP8.5 montre une tendance à la décroissance statistiquement significative. En particulier, la Figure 13 et la Figure 14 montrent respectivement une hausse de l'intensité de pluie et des valeurs maximales de précipitation sur 5 jours, plus évidente d'après le scénario RCP8.5. Pour ce qui concerne la dispersion des modèles autour de l'*ensemble mean*, en Figure 12 et en Figure 13, la gamme d'incertitude augmente sur la période à long terme, plus évidemment dans le cadre du scénario RCP8.5. De façon générale, dans les deux cas, la gamme d'incertitude inclut presque tous les modèles.

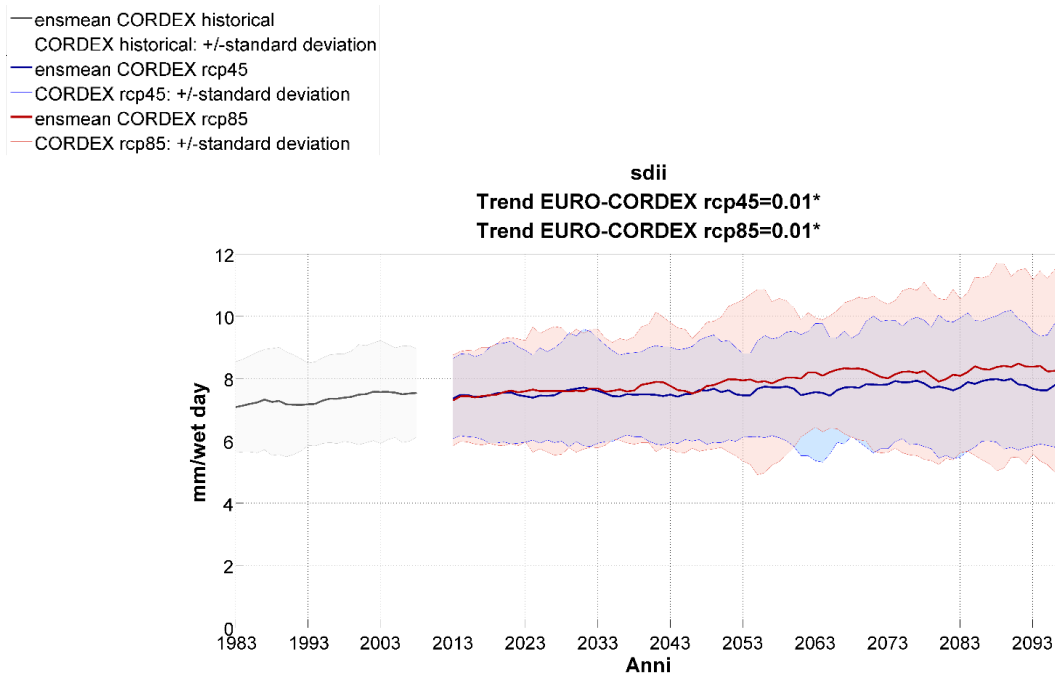


Figure 12: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur sdii, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	16/18	16/18	16/18



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

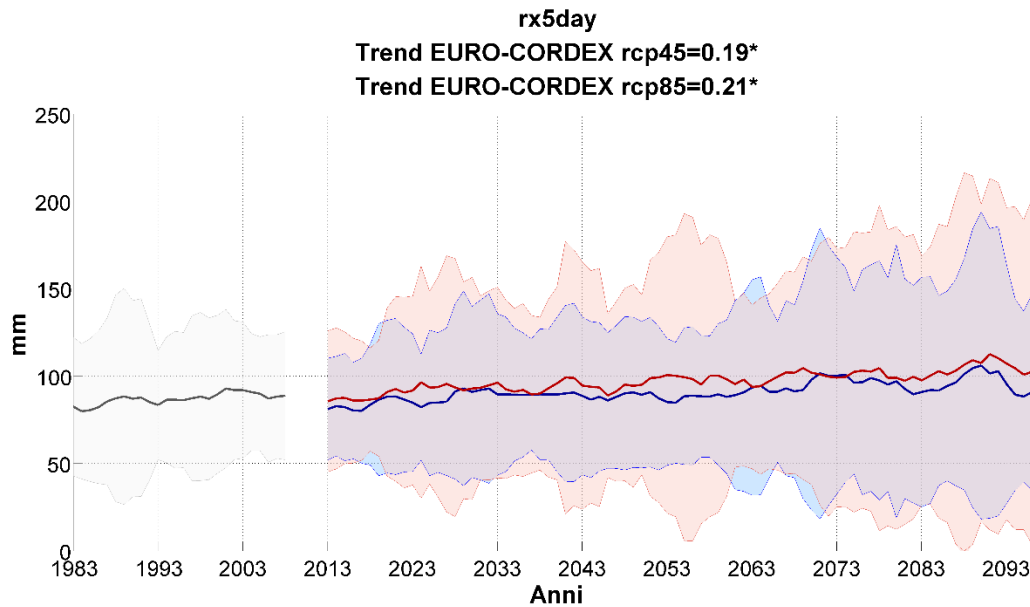


Figure 13: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur rx5day, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	17/18	17/18	17/18



Conformément au scénario RCP8.5, on peut remarquer une faible diminution du nombre maximal de jours de pluie consécutifs par an (Figure 14); par contre, on s’attend à une hausse du nombre maximal de jours avec absence de précipitations (Figure 15). Le scénario RCP4.5, en revanche, présente pour l’indicateur cwd un signal stationnaire mais pas statistiquement significatif et, pour l’indicateur cdd, une faible hausse statistiquement significative. La Figure 14 et la Figure 15 montrent une faible hausse de la dispersion sur la période à long terme pour le scénario RCP8.5. Le nombre de modèles en moyenne contenu dans la gamme d’incertitude est égal à 15 sur 18 pour cwd et à 13 sur 18 pour cdd.

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

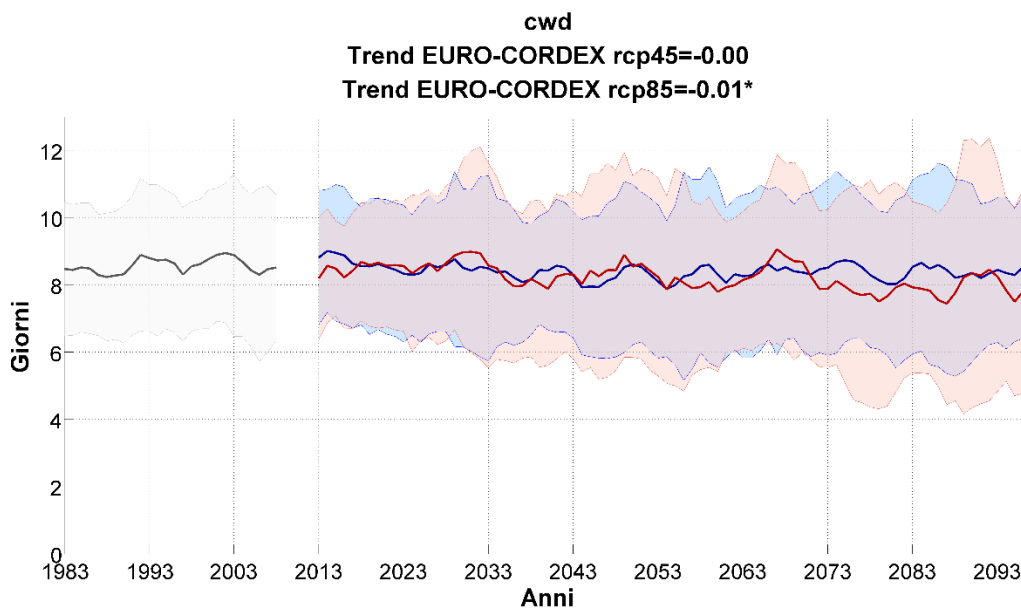


Figure 14: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l’indicateur cwd, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L’épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l’*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l’incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d’incertitude	14/18	15/18	15/18



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

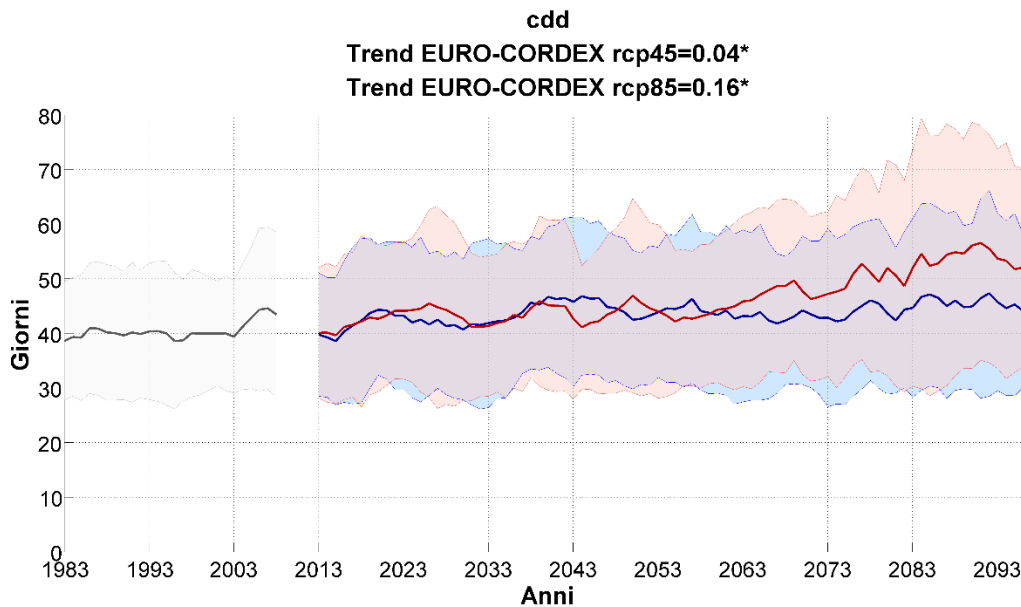


Figure 15: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur cdd, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	13/18	13/18	12/18



La Figure 16 montre une projection de la diminution des jours de pluie statistiquement significative, qui s'avère être majeure d'après le scénario RCP8.5. En général, la gamme d'incertitude montre une variabilité contenue dans les deux scénarios, d'où relèvent en moyenne 14 modèles sur 18.

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

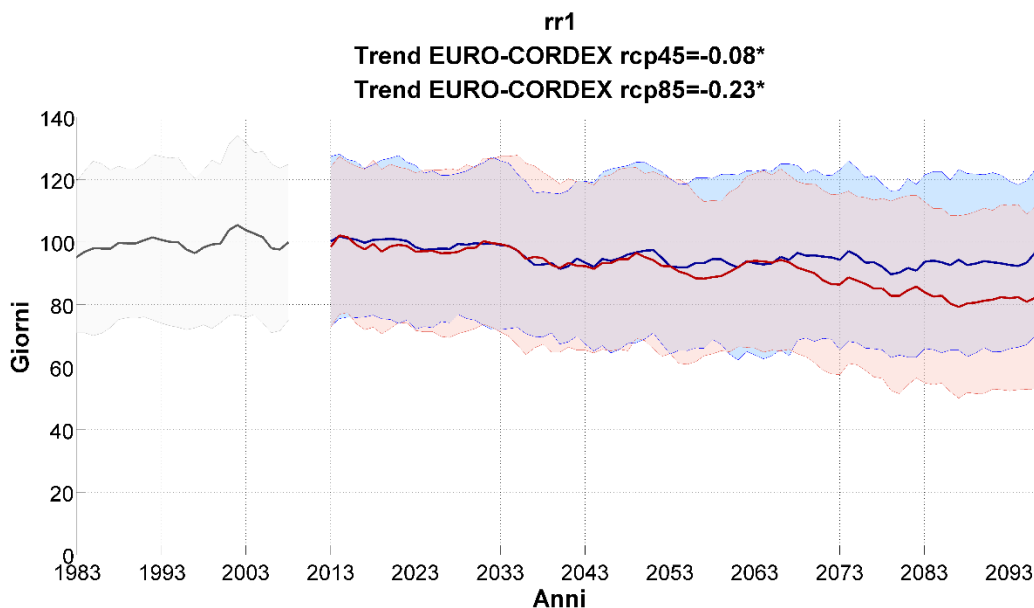


Figure 16: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur rr1, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	14/18	14/18	14/18



La Figura 17, conformément aux deux scénarios, ne montre pas une tendance statistiquement significative pour l'indicateur prcptot. En général, la gamme d'incertitude montre une grande variabilité, qui est maximale sur la période à long terme, où peut être classée la plupart des modèles.

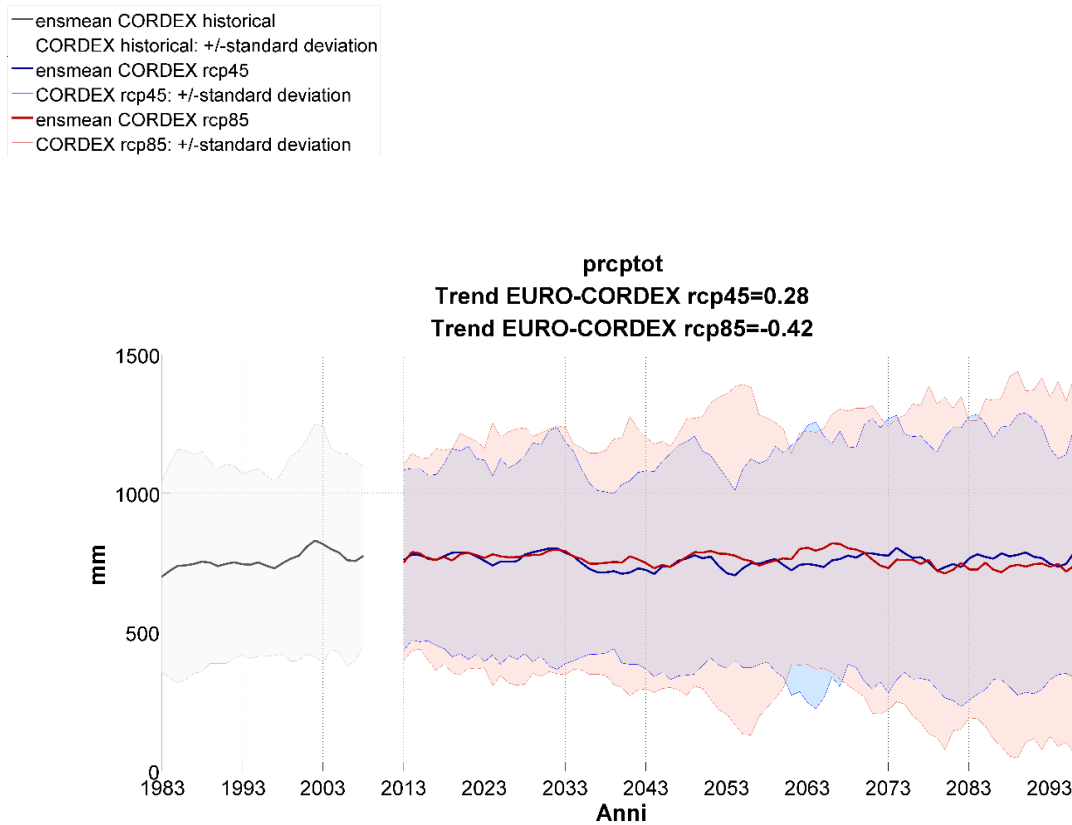


Figura 17: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). L'épaisse ligne sombre indique la projection climatique moyenne (*ensemble mean*), en calculant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les parties grisées représentent la gamme obtenue en sommant et en soustrayant à l'*ensemble mean* la déviation standard des valeurs simulées par les modèles et elles donnent une mesure de l'incertitude des projections. On a considéré toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, à savoir 18. Les résultats ont été obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 années.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la tranche d'incertitude	17/18	17/18	17/18



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Conclusions

Une caractérisation de la variabilité climatique locale observée pour la commune de Sassari a été présentée sur la période 1981-2010 à partir des données de température (minimale et maximale) et de précipitation de la *station de Sassari*, dont la source est représentée par A.R.P.A.S.- *Dipartimento Meteorologico*. Plus spécifiquement, on a évalué les valeurs moyennes et extrêmes des variables de température et précipitation. En particulier, les indicateurs sélectionnés pour décrire la variabilité climatique de la zone géographique d'intérêt seront très utiles pour les études sectorielles visant à évaluer les principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquels reposent les stratégies d'adaptation et d'atténuation.

En termes de température, on remarque une température maximale moyenne d'environ 30°C pendant l'été et une température minimale moyenne d'environ 5°C pendant l'hiver. Par ailleurs, en termes de précipitation, l'automne s'avère être la saison la plus pluvieuse (avec 243 millimètres en moyenne de pluie cumulée sur la saison entière) alors que l'été est caractérisée par des précipitations faibles d'environ 43 millimètres.

La station de Sassari est caractérisée par un nombre moyen de jours par an avec température minimale inférieure à 0°C (fd) égal à 2, alors que le nombre de jours par an avec température maximale journalière supérieure à 35°C (hw) est égal à 5.

En termes de précipitation, Sassari s'avère être caractérisée, en moyenne, par environ 60 jours consécutifs par an avec absence de pluie (cdd) et par une précipitation moyenne journalière lors des jours avec précipitation supérieure à 1 mm (sdii) relativement faible (9 mm).

Ci-après on trouvera une synthèse des projections climatiques futures à court terme (2011-2040), moyen terme (2041-2070) et long terme (2071-2100) en utilisant les données simulées par les modèles climatiques régionaux disponibles dans le cadre du programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>). Les projections climatiques futures ont été obtenues en considérant différents scénarios IPCC: RCP4.5 et RCP8.5 afin d'évaluer la valeur moyenne (*ensemble mean*) des projections climatiques par rapport aux deux scénarios considérés et l'incertitude associée (Kotlarski et al. 2014, Jacob et al. 2014).

L'utilisation de tous les modèles disponibles dans le programme EURO-CORDEX, quoique plus onéreuse du point de vue méthodologique et computationnel, a permis d'effectuer une estimation de l'incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou indicateur climatique d'intérêt.

Ces analyses soulignent une augmentation générale des températures, plus marquée dans la période à long terme et en considérant le scénario RCP8.5 (plus pessimiste); en particulier, on peut remarquer une forte hausse du nombre de jours par an avec températures maximales supérieures à 35°C (hw) et avec température journalière ressentie supérieure ou égale à 45°C (humidex5). En outre, la commune de Sassari est affectée par une réduction du nombre de jours avec température minimale inférieure à 0 °C (fd).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

En termes de précipitation, il ressort qu'une augmentation de l'intensité des précipitations est attendue (sdii), tout comme des cumuls maximaux de précipitation sur 5 jours (rx5day) et un nombre maximal de jours consécutifs par an avec précipitations inférieure à 1 millimètre (cdd), plus marqué selon le scénario RCP8.5 et en considérant la période 2071-2100. Par contre, en général, on s'attend à une réduction du nombre de jours de pluie (rr1) et du nombre maximal de jours de pluie consécutifs par an (cwd). Egalement, à long terme, selon le scénario RCP8.5, on s'attend à une diminution du nombre de jours avec précipitations supérieures ou égales à 10 mm (r10) et de la quantité de précipitation annuelle lors des jours de pluie (prcptot).

Le profil climatique local de la commune de Sassari, obtenu sur la base des observations et des projections climatiques actuellement disponibles, sera utilisé en tant qu'instrument d'aide à la décision et de synthèse par les experts de futures études sectorielles spécifiques sur l'impact des changements climatiques.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Glossaire⁴

Anomalie: La déviation d'une variable par rapport à sa valeur moyenne au cours d'une période de référence.

Anthropogénique: Causé par l'activité humaine.

Changement climatique: l'expression changement climatique fait référence à un changement de l'état du climat qui persiste pendant une période prolongée (normalement étalée sur plusieurs décennies) et identifiable (par exemple, à travers l'utilisation de tests statistiques) par des changements de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés. Le changement climatique peut être dû à des processus naturels internes, ou à des facteurs forçants extérieurs, comme les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques et les changements anthropogéniques réitérés dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des sols. Il est à noter que la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), à l'article 1, définit le changement climatique comme: "un changement de climat attribué directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, qui vient s'ajouter à la variabilité climatique naturelle observée au cours de périodes comparables". Par conséquent, l'UNFCCC fait une distinction entre le changement climatique imputé aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère et la variabilité climatique attribuée à des causes naturelles.

Cycle saisonnier: évolution de la moyenne mensuelle, sur une période de trente ans, de la variable d'intérêt. Egalement appelée cycle annuel.

Climat: Le climat au sens strict est normalement défini comme le temps météorologique moyen ou, plus exactement, comme la description statistique en termes de moyenne et de variabilité de grandeurs pertinentes, au cours d'une période qui peut varier entre quelques mois et des milliers ou millions d'années. La période classique pour calculer la moyenne de ces variables est de trente ans, selon la définition de l'Organisation Météorologique Mondiale (WMO - World Meteorological Organization). Les grandeurs pertinentes sont dans la plupart des cas des variables de surface, telles que température, précipitations et vents. Dans un contexte plus large et général, le climat est l'état du système climatique, avec l'inclusion d'une description statistique.

Extrêmes climatiques: la survenance de la valeur d'une variable atmosphérique au dessus (ou au dessous) d'une valeur seuil située à l'extrémité supérieure (ou inférieure) de la gamme de valeurs observées de la variable. On considère comme synonymes : événements extrêmes, événements météorologique extrêmes.

Impacts (conséquences, résultats): les effets sur les systèmes naturels et humaines. Dans le Rapport WGII AR5 du IPCC, le terme « impacts » fait essentiellement référence aux effets des événements météorologiques et climatiques extrêmes et du changement climatique sur les systèmes naturels et humains. Les impacts se réfèrent généralement aux effets sur l'homme, sur les logements, sur la santé, les écosystèmes, les biens et ressources économiques, sociaux

4 Glossaire extrait de Caciagli L. *Glossario minimo dell'IPCC* http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



et culturels, les services (y compris environnementaux) et les infrastructures, suite à l'interaction du changement climatique – ou événements climatiques dangereux, survenant dans une période spécifique – et à la vulnérabilité d'une société, ou d'un système, exposée au changement climatique lui-même. Egalement, on se réfère aussi aux impacts comme aux conséquences et aux résultats. Les impacts du changement climatique sur les systèmes géophysiques, y compris les inondations, la sécheresse et la montée du niveau des mers, représentent un sous-ensemble d'impacts nommé « impacts physiques ».

Niveau moyen de la mer: le niveau de la surface des océans dans un endroit spécifique, mesuré sur une période prolongée, tel qu'un mois ou un an. Le niveau moyen de la mer est souvent utilisé en tant que niveau de référence national auquel les altitudes terrestres sont référées.

Modèle climatique: La représentation numérique du système climatique fondée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, sur leurs interactions et processus de rétroaction, en prenant compte certaines de leurs propriétés connues. Le système climatique peut être représenté par des modèles de complexité variable; c'est-à-dire, dans chaque composante ou combinaison de composants l'on peut identifier un spectre ou une hiérarchie de modèles, différents entre eux sous certains aspects, tels que le nombre de dimensions spatiales, le domaine entre lequel les processus physiques, chimiques ou biologiques sont représentés d'une façon explicite, ou le degré de paramétrisation empirique utilisé. Les modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (AOGCM – Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Models) donnent la représentation la plus complète du système climatique dressant l'état de l'art actuel (en matière de recherche de haut niveau). Il y a une évolution vers des modèles plus complexes avec chimie interactive et biologie. Les modèles climatiques sont employés comme instruments de recherche pour étudier et simuler le climat, ou bien avec des buts opératifs, y compris les prévisions climatiques sur base mensuelle, saisonnière et interannuelle.

Modèle climatique régional: il s'agit d'un modèle climatique caractérisé par une résolution spatio-temporelle supérieure par rapport aux modèles de circulation générales; ils sont en mesure de dériver les caractéristiques du climat à échelle régionale (à savoir entre 10 et 50 km environ).

Percentile: Le percentile est une valeur à une échelle égale à 100 indiquant le pourcentage de valeur de la série de données analysée qui a des valeurs inférieures ou égales à lui-même. Le percentile est souvent utilisé pour estimer les extrêmes de la distribution. Par exemple, le 90^e (10^e) percentile peut être utilisé comme référence pour le seuil des valeurs les plus hautes (faibles).

Période de référence: La période de référence est l'état du système par rapport auquel le changement est mesuré. Dans ce document, elle représente la période à laquelle les valeurs atmosphériques sont référées.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Projection climatique: une projection climatique est la réponse simulée du système climatique à un scénario d'émissions futures, ou de concentration de gaz à effet de serre et aérosols, généralement obtenue en utilisant les modèles climatiques. Les projections climatiques sont différentes des prévisions climatiques, en raison de leur dépendance vis-à-vis du scénario d'émission/concentration/forçant radiatif utilisé, à son tour fondé sur les hypothèses concernant, par exemple, les futures développements socio-économiques et technologiques qui pourraient être réalisés ou non.

Scénario climatique: la représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, fondée sur un ensemble internement cohérent de relations climatologiques, construit pour une utilisation explicite dans l'étude des potentielles conséquences du changement climatique anthropogénique, qui sert souvent comme donnée d'entrée aux modèles sur les impacts. Les projections climatiques servent souvent de base à la construction de scénarios climatiques, bien que les scénarios climatiques normalement nécessitent de plus amples informations, comme par exemple sur le climat actuel observé.

Scénario d'émission: La représentation plausible du futur développement des émissions de substances pouvant potentiellement avoir des propriétés radiatives (par exemple, gaz à effet de serre et aérosols), fondée sur un ensemble cohérent, et intrinsèquement harmonieux, de principes sur les facteurs d'influence (tels que l'évolution démographique, socio-économique et changements technologiques) et leurs relations clés. Les scénarios de concentration, dérivés des scénarios d'émission, sont utilisés comme données dans les modèles climatiques, pour calculer les projections climatiques. Dans le rapport IPCC (1992) une série de scénarios d'émission a été présentée et est utilisée comme base pour les projections climatiques de l'IPCC (1996). Ces scénarios d'émission sont mentionnés comme scénarios IS92. Les scénarios d'émission, que l'on appelle les scénarios SRES, ont été publiés dans le Rapport Spécial sur les scénarios d'Emission de l'IPCC (IPCC Special Report on Emission scénarios; Nakićenović et Swart, 2000), et certains d'entre eux ont été utilisés, entre autres, comme base pour les projections climatiques présentées aux chapitres 9-11 du rapport IPCC de 2001 et aux chapitres 10 et 11 du rapport IPCC de 2007. Les nouveaux scénarios d'émission pour le changement climatique, les quatre 'Representative Concentration Pathway', ont été développés pour la présente évaluation de l'IPCC, mais indépendamment d'elle.

Température mondiale moyenne à la surface: une estimation de la température mondiale moyenne de l'air à la surface. Cependant, pour ce qui est des variations dans le temps, on n'utilise que les anomalies, comme les déviations d'une climatologie, plus fréquemment fondées sur la moyenne mondiale pondérée par l'aire de l'anomalie de température de la mer à la surface et de l'anomalie de la température de l'air à la surface terrestre.

Variabilité climatique: par l'expression « variabilité climatique » on se réfère aux variations de l'état moyen et d'autres statistiques (comme la déviation standard, la survenance d'événement extrêmes, etc.) du climat à n'importe quelle échelle spatiale et temporelle, outre qu'à celle des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels, dans le cadre du système climatique (variabilité interne), ou bien à des variations du facteur forçant extérieur, naturel ou anthropogénique (variabilité extérieure).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Annexe 1: Méthode REA - Reliability Ensemble Averaging

Afin d'évaluer la précision des modèles EURO-CORDEX dans la reproduction des observations dans la période de référence, on a considéré l'erreur moyenne absolue (MAE) pour chaque modèle par rapport aux observations.

La Figure 18 montre les box-plot qui décrivent la distribution des MAE des modèles EURO-CORDEX dans les variables d'intérêt (précipitation, température maximale et minimale) à échelle annuelle et saisonnière. Le but de cette élaboration est de montrer, en termes de MAE, la présence de modèles qui s'écartent considérablement de la distribution des autres modèles (*outliers*). En particulier, dans la plupart des cas, les *outliers* (indiqués par un '+' rouge) représentent des modèles qui présentent une erreur majeure par rapport à la moyenne de la distribution des modèles.

En considérant le fait que les modèles n'ont pas tous des performances similaires, les résultats en termes de moyenne (*ensemble mean*), mentionnés ci-dessous, ont été obtenus en utilisant également l'approche fournie par Giorgi et Mearns (2002), connue comme "REA" (Reliability Ensemble Averaging). Cette approche relève du principe d'accorder une plus grande importance aux modèles avec les meilleures performances sur le présent dans la représentation des évolutions des variables d'intérêt (moyens et extrêmes). Donc, ci-après, on indique également les résultats obtenus en termes de moyenne pondérée des anomalies des modèles EURO-CORDEX.

En suivant cette approche, pour chaque modèle i , on estime un facteur de fiabilité (poids) de la façon suivante:

$$R_i = Rb_i * Rd_i$$

où Rb est le facteur correctif en termes de biais du modèle par rapport à l'observé, alors que Rd est le facteur correctif en termes de convergence des anomalies des modèles individuels.

Ci-après on indique les résultats obtenus en suivant l'approche REA, qui s'avère être un critère expérimental de sélection des modèles sur la base de leur performance. Il convient de noter que dans ce document on a fait référence aux différents travaux disponibles dans la littérature, selon lesquels il faut considérer l'*ensemble mean* en tant que moyenne non pondérée pour tous les modèles actuellement disponibles.

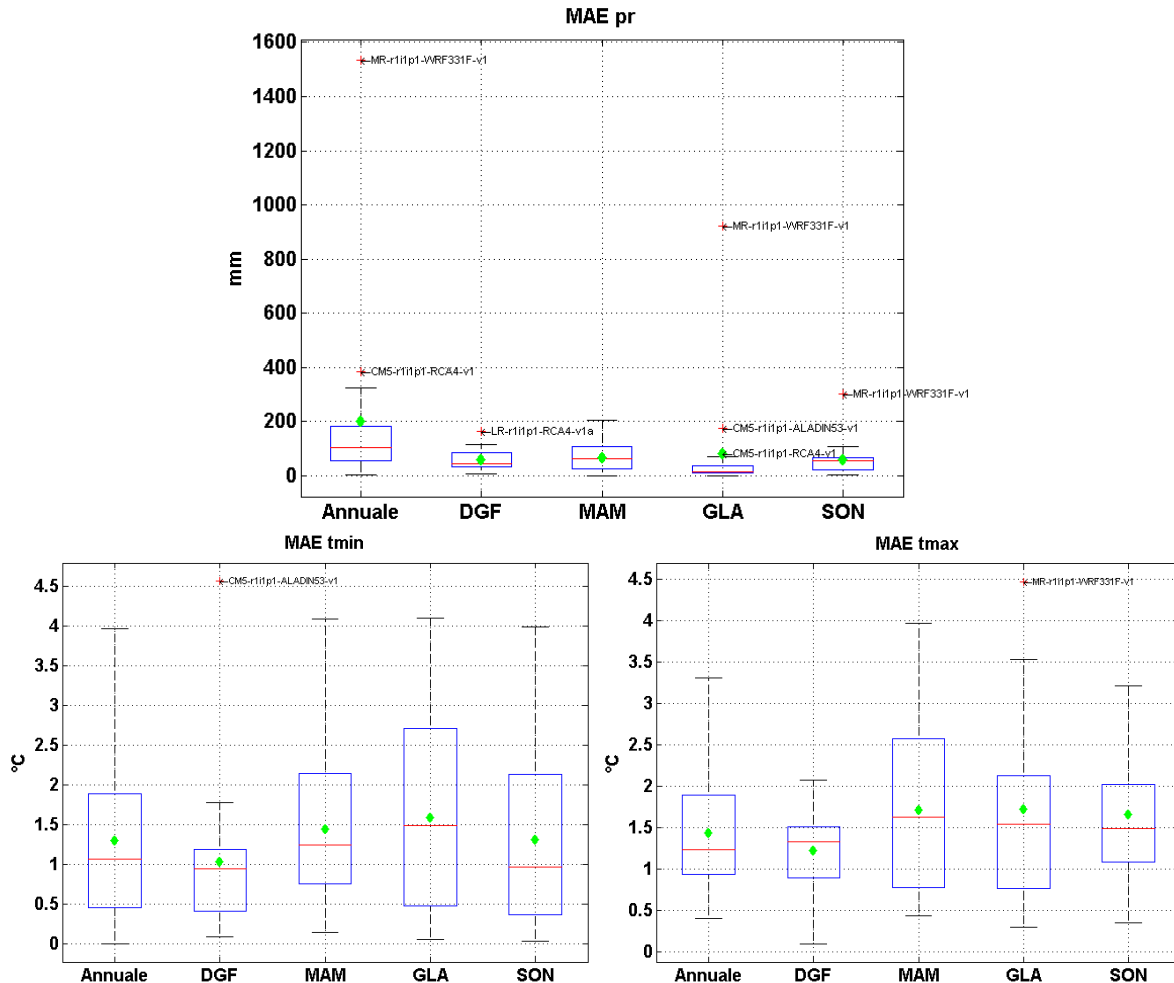


Figure 18: Boîte à moustaches des erreurs moyennes absolues des modèles EURO-CORDEX dans les précipitations (MAE pr), températures minimales (MAE tmin) et températures maximales (MAE tmax) annuelles et saisonnières. L'encadré bleu représente l'intervalle interquartile (IQR, les bords inférieur et supérieur de la boîte représentant respectivement le 25^e et le 75^e percentile) des erreurs en valeur absolue (MAE) des modèles EURO-CORDEX, alors que la ligne rouge horizontale représente la médiane. Les moustaches représentent les valeurs entre 1.5 fois l'IQR. Les valeurs aberrantes sont tracées individuellement en utilisant le symbole '+' en rouge. En outre, le losange vert représente la moyenne des MAE des modèles EURO-CORDEX.

Au Tableau 7 on indique les valeurs des anomalies (en termes de moyenne pondérée des anomalies des différents modèles) annuelles et saisonnières de température et précipitation pour les trois périodes d'intérêt et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5, pour la boîte qui inclut la commune considérée. En général, les résultats obtenus sont semblables à ceux indiqués au Tableau 6 ; seul dans le cas des précipitations on remarque, au Tableau 7, une diminution plus intense. Il n'a pas été possible d'indiquer ces valeurs pour la température moyenne (Tmean) puisque, faute de données disponibles observées relatives à cette variable, l'approche REA n'était pas applicable.



Tableau 7: Anomalies (en termes de moyenne pesée des anomalies des différents modèles) annuelles et saisonnières de température (moyenne, minimale et maximale, en °C) et précipitation (%) pour les deux scénarios et les trois périodes d'intérêt, pour la boîte comprenant la commune de Sassari.

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



A la Figure 19, il ressort que l'augmentation de l'indicateur hw et la diminution de l'indicateur fd sont plus contenues par rapport à ce que l'on trouve à la Figure 7. Pour ce qui est de l'indicateur humidex5, il n'a pas été possible d'indiquer l'anomalie en termes de moyenne pondérée des anomalies des différents modèles, puisque, faute de données disponibles observées relativement à l'humidité, l'approche REA n'était pas applicable.

A la Figure 20, les résultats obtenus sont généralement similaires à ceux qui sont indiqués à la Figure 8 ; pour ce qui est des indicateurs r10, cwd et rr1, on remarque une réduction majeure, surtout à moyen et à long terme, tandis que pour l'indicateur cdd on a enregistré une augmentation majeure dans la période à long terme pour les deux scénarios.

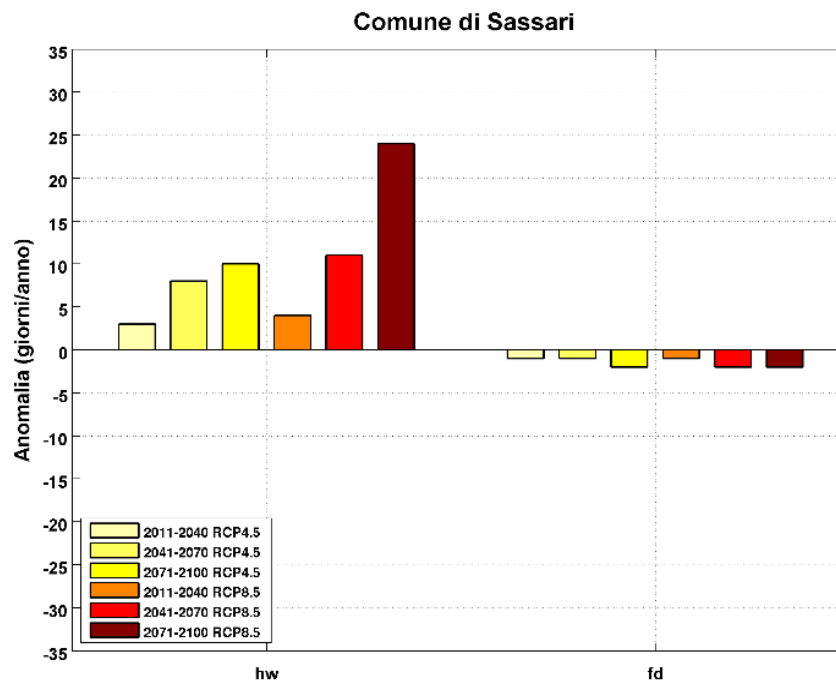


Figure 19: Anomalies des indicateurs de température pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010

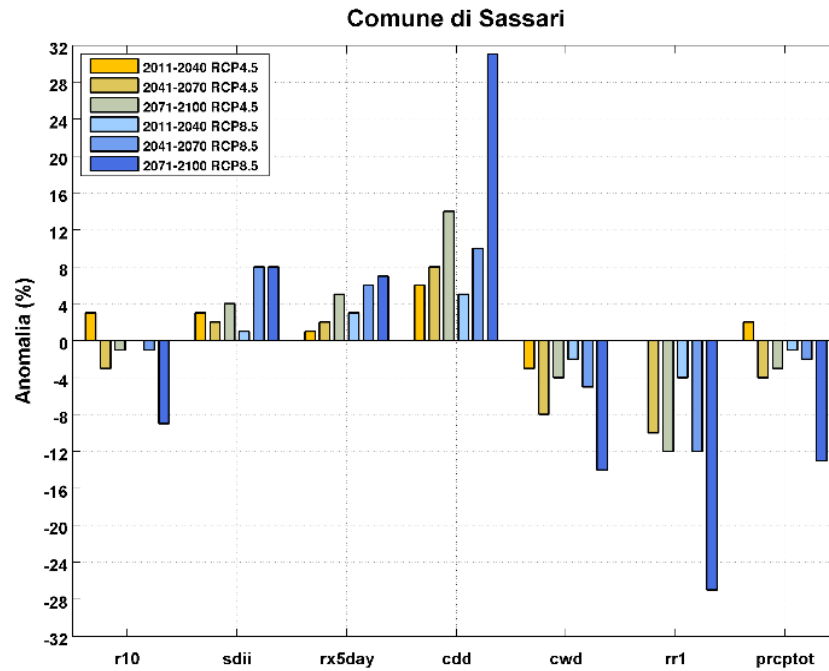


Figure 20: Anomalies des indicateurs de précipitations pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Bibliographie

Haylock MR, Hofstra N, Tank AMGK, et al (2008) A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. J Geophys Res. doi: 10.1029/2008jd010201.

Hirsch, R.M., J.R. Slack, and R.A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data, Water Resources Research 18(1):107-121.

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change 2007a. Climate Change 2007: Synthesis

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

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

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

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

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

Jacob D, Petersen J, Eggert B, et al (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Chang 14:563–578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Kotlarski S, Keuler K, Christensen OB, et al (2014) Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geosci Model Dev* 7:1297–1333. doi: 10.5194/gmd-7-1297-2014.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.
- Castellari S, Venturini S, Ballarin Denti A, et al (2014a) Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma
- PNACC, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, 2017.
- Rockel B., Will A. e Hense A..(2008). The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.*, vol. 17(4), pp. 347-348.
- Van Vuuren et. al. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109:5–31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- WMO, 2007: The Role of Climatological Normals in a Changing Climate. WCDMP-No. 61, WMO.TD No. 1377.
- Giorgi F, Mearns LO, 2002, Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method, *Journal of Climate*, 15, 1141-1158.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Link internet

- D. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/indicatori-climatici>
- E. http://www.climatrentino.it/clima_trentino/ct_dati_rapporti/ct_dr_reports_climatici/
- F. https://www.arpae.it/report_ambientali_full.asp?idlivello=1563&tipo_elenco=rep_ambientale&idmateria=4
- G. <https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/annuale.html>
- H. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf
- I. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml,
- J. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf
- K. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf
- L. http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf
- M. <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtm>
- N. <http://www.blueap.eu/site/>
- O. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima>
- P. http://www.scia.isprambiente.it/home_new.asp
- Q. <https://www.arcis.it/wp/>
- R. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/csc-report13_englisch_final-mit_umschlag.pdf
- S. http://www.isprambiente.gov.it/files2017/snpa/Delibera15_indicatoriimpatticambiamentistici.pdf
- T. <https://public.wmo.int/en/bulletin/addressing-climate-information-needs-regional-level-cordex-framework>



ABRÉVIATIONS, ACRONYMES

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



PNACC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
RCM	Regional Climate Model
SCIA	Sistema dati Climatici Interesse Ambientale
SNACC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
WMO	World Meteorological Organization