



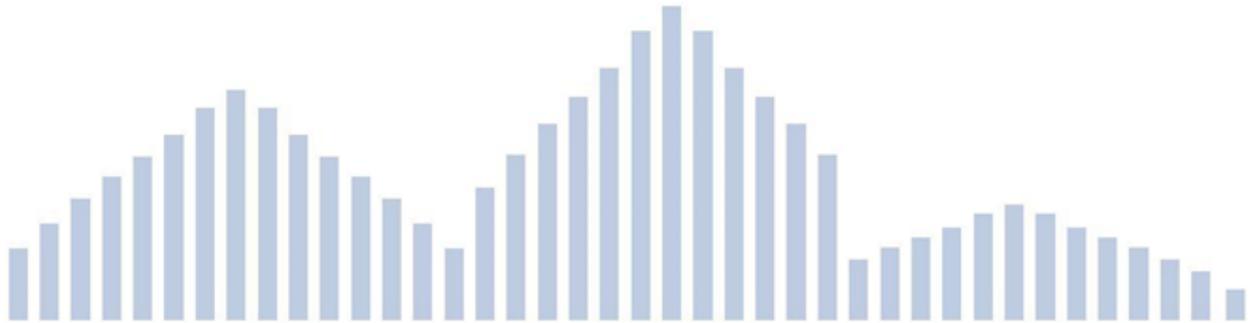
Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Vue du climat local pour la municipalité de Alghero





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduction	3
Évolution dans le temps de la variabilité climatique observée	5
Scénarios climatiques locaux disponibles	14
Conclusions	29
Glossaire	31
Annexe 1: Reliability ensemble averaging	34
Bibliographie	39
Link au sites internet	41

Le document a été développé par la Fondation Centre Euro-Méditerranéen sur les Changements Climatiques (CMCC).

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

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduction

Le présent document a la finalité de décrire la vue climatique local de la municipalité de Alghero, sur la base des observations et des projections climatiques actuellement disponibles. Cette analyse du climat permet à la fois de caractériser la variabilité climatique locale observée et, dans les phases ultérieures de l'étude, d'évaluer les anomalies climatiques attendues localement à l'avenir en raison des changements climatiques.

En ce qui concerne le changement climatique à l'échelle mondiale, la communauté scientifique considère «extrêmement probable» que le réchauffement de l'air et des océans, la réduction de l'étendue et du volume des glaciers, l'élévation du niveau de la mer et la réduction de la couverture de neige dans l'hémisphère nord, a été l'activité anthropique (GIEC, AR4, 2007) comme cause dominante. L'étude de cette variation ne fera pas l'objet de ce document qui se concentre sur l'analyse du climat observé et ses scénarios de changement sur la ville d'intérêt.

L'étude du climat implique, par définition, l'utilisation de longues échelles de temps; en particulier, l'WMO (WMO, 2007) établit en 30 ans la longueur standard nécessaire pour effectuer des analyses statistiques pouvant être considérées comme représentatives du climat. Pour cette raison, les changements du climat futur par rapport au climat actuel (ou de référence) sont obtenus en comparant des périodes de 30 ans.

Dans la section *Évolution dans le temps de la variabilité climatique observée* est indiquée l'analyse des données observées. Plus précisément, cette analyse est réalisée dans la période 1981-2010 à partir des données de température (minimum et maximum) et de précipitation de la station d'Alghero, dont la source est le *Service Météorologique de l'Armée de l'Air* par l'intermédiaire de l'ARPAS. Cette analyse décrit la variabilité temporelle dans la période des valeurs moyennes et extrêmes des précipitations et de la température. Les extrêmes sont définis comme les valeurs des variables atmosphériques qui diffèrent de la moyenne climatologique et sont définies par les seuils (par exemple, percentiles, minima, maximums). Plusieurs études montrent que le changement climatique implique également une variation de la fréquence et de la gravité des événements extrêmes, dont la variation dépend la plupart des coûts sociaux et économiques associés au changement climatique.

Ajouté à la description du climat local observé, pour ce qui concerne les valeurs moyennes et extrêmes, les anomalies climatiques attendues pour les indicateurs sélectionnés sont présentées, sur la base de différents scénarios climatiques, pour trois futurs 30 ans d'intérêt (2011-2040, 2041- 2070, 2071-2100) par rapport à la période de référence 1981-2010.

Dans ce travail, les anomalies des indicateurs sélectionnés ont été calculées, en considérant les deux scénarios différents RCP4.5 et RCP8.5, à partir des données simulées des modèles climatiques régionaux actuellement disponibles dans le programme EURO-CORDEX à la résolution horizontale la plus élevée d'environ 12 km. Plus d'informations sur l'initiative EURO-CORDEX sont disponibles sur 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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



détaillés, même s'il existe encore un certain degré d'incertitude pour plusieurs causes (Collins, 2007). En particulier, l'estimation des variations des précipitations, tant spatiales que temporelles, est plus incertaine que celle des variations de température, et plus incertaines sont les estimations des variations des événements extrêmes (MATTM, SNACC, Rapport sur l'état des connaissances, 2014).

L'utilisation d'ensembles (ensembles) de projections futures à partir de différents modèles (multi-modèles ensemble), bien que plus coûteuse d'un point de vue méthodologique et informatique, permet d'estimer l'incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou indicateur climatique d'intérêt.

Dans ce travail, des analyses de la variabilité climatique future ont été élaborées en utilisant une approche multi-modèle, comme cela a déjà été fait dans plusieurs travaux de littérature récents (Jacob, 2014), (Kotlarski, 2014).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Évolution dans le temps de la variabilité climatique observée

La municipalité de Alghero, comme indiqué à l'annexe 1 du Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques, actuellement en instance d'approbation (PNACC, 2017), fait partie, sur la base du dataset observé E-OBS (Haylock et al.2000), à la macro-région 6 qui identifie les zones insulaires et l'extrême sud de l'Italie. Cette macro-région semble être la région du territoire italien en moyenne plus chaude et plus sèche, caractérisée par la température moyenne la plus élevée et le nombre le plus élevé de journées annuelles consécutives sans pluie, par les précipitations estivales en moyenne inférieures et en général par événements extrêmes de précipitations diminué en fréquence et magnitude.

Représentant une résolution d'environ 28 km, la climatologie décrite par le dataset E-OBS est capable d'identifier au niveau macro climatique les régimes climatiques dominants sur le territoire national, mais la caractérisation du climat local nécessite une analyse plus ciblée pour la caractérisation de profils climatiques locaux.

Afin de mieux connaître les aspects les plus locaux du climat d'Alghero, l'analyse des conditions climatiques sur la zone d'intérêt a été réalisée en prenant en compte les données quotidiennes de température minimale, maximale et de précipitation enregistrées par la station d'Alghero. La station météorologique, gérée par le service météorologique de l'armée de l'air, est située à quelques kilomètres du village de Fertilia, dans la municipalité d'Alghero, à l'aéroport d'Alghero-Fertilia. La position géographique de la station disponible pour la municipalité d'Alghero est rapportée dans la **Figure 1**.



Figure 1: Position géographique de la station météorologique disponible pour la municipalité de Alghero.



Les séries de données disponibles au cours de la période 1981-2010 ont été soumises à un contrôle de qualité et d'homogénéité qui peut être résumé comme suit:

- ✓ **Analyse d'exhaustivité des données.** Pour chaque résolution temporelle, est vérifiée la présence d'au moins le 75% des données disponibles parce que la présence de *missing* (données manquantes) peut porter à une analyse peu significative, très faussées et/ou incorrectes.
- ✓ **Repérer et éliminer de breakpoint.** Cette procédure, qui consiste à identifier et à supprimer des séries de données observées les inhomogénéités qui sont la conséquence de facteurs externes non climatiques, a été réalisée au moyen de deux tests non paramétriques, celui de Pettitt et celui de CUSUM (*CUMulative SUM*) (ISPRA, 2013).

Ces contrôles sont essentiels pour exclure tout changement climatique artificiel qui pouvant être attribué au déplacement de la station de mesure, au remplacement de l'instrumentation, aux modifications de l'exposition de l'instrument ou à l'adoption de nouvelles procédures de traitement des données. Les changements climatiques artificiels peuvent être une source d'inhomogénéité qui se manifeste comme une tendance artificielle dans les séries (ISPRA, 2013).

Dans le Tableau 1 est rapporté le nombre total d'années avec des données valides (pourcentage de données manquantes inférieur à 25%), pour la station de Alghero et pour chaque variable considérée ont été exclues 11 ans pour les températures (minimum et maximum) et 6 ans pour la précipitation, parce ce il était présent un pourcentage des données pas valide supérieur au 25%.

Tableau 1: Nombre total d'années avec des données valides (pourcentage des données manquantes inférieur au 25%), pour chaque variable considérés. En outre, sont indiqués les années avec données pas valide (pourcentage des données manquantes supérieur au 25%).

	Station Alghero	
	Temperature	Précipitations
Nombre maximal d'années	30	30
Nombre totale d'années disponibles	23	16
Completude	76%	53%
Années avec données pas valide	1990,1991,1992,1993 1997,1998,1999	1990,1991,1992,1993 1994,1997,1998,1999,2000 2001,2002,2003,2004,2005

Suite aux contrôles de qualité et d'homogénéité des données in situ, différentes analyses statistiques et climatiques ont été réalisées pour décrire la variabilité climatique observée. En particulier, les principaux résultats sont présentés:



- moyenne mensuelle, sur la période de référence, de la température et des précipitations (cycle saisonnier) avec la dispersion par rapport à 5° et au 95° percentile de la distribution mensuelle;
- valeurs moyennes (annuelles et saisonnières) de la température et des précipitations cumulées;
- 95° e 99° des précipitations quotidiennes et de la température maximale quotidienne et 1° et 5° percentile de la température minimale quotidienne;
- séries chronologiques annuelles de température et de précipitations avec tendance et évaluation de la signification statistique par le test de Mann-Kendall (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945), nécessaire pour identifier une tendance significative de croissance / décroissance ;
- séries chronologiques annuelles des indicateurs de température et de précipitations avec tendance et évaluation de la signification statistique par le test de Mann-Kendall (Hirsch,1982; Kendall, 1975; Mann,1945), nécessaire pour identifier une tendance significative de croissance / décroissance.

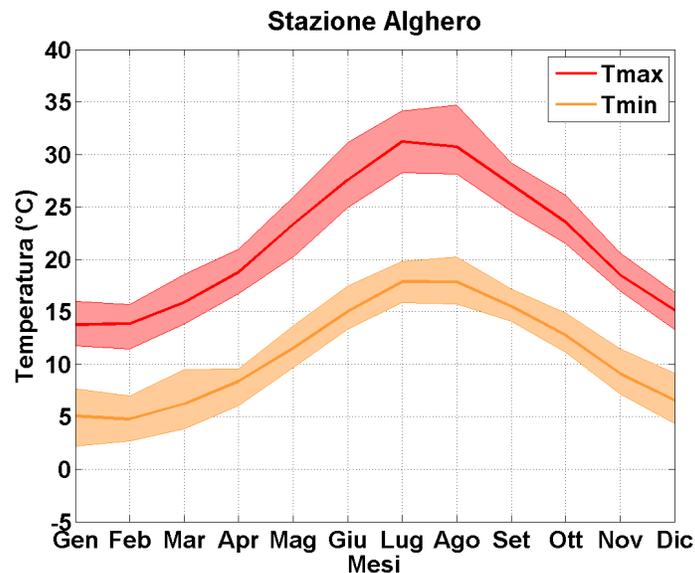


Figure 2: Cycle saisonnier des températures minimales et maximales. La zone ombrée indique la dispersion par rapport au 5° et au 95° percentiles de la distribution mensuelle sur la période de référence.

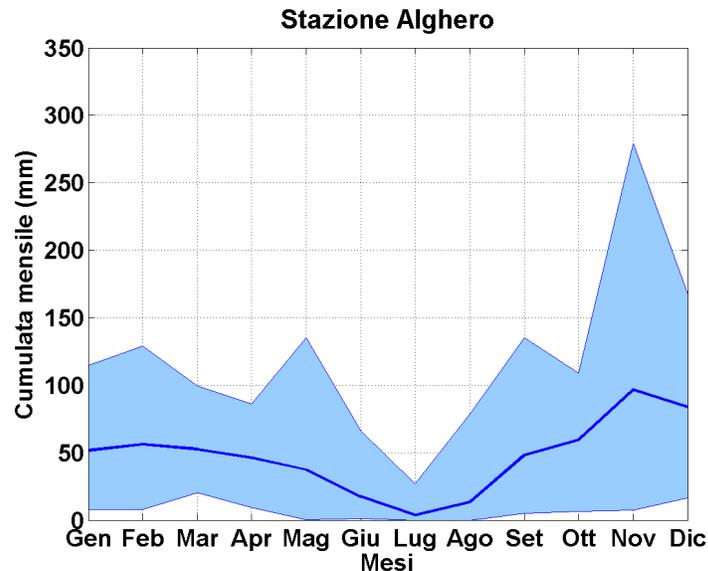


Figure 3: Cycle saisonnier des précipitations cumulées mensuelles. La zone ombrée indique la dispersion par rapport au 5ème et au 95ème percentiles de la distribution mensuelle sur la période de référence.

Dans la Figure 2 sont indiqués les cycles saisonniers (tendances mensuelles moyennes) des températures minimale (Tmin) et maximale (Tmax), mais dans la Figure 3 ceux des précipitations (Pr). Pour chaque variable a été représentée aussi la dispersion des données par rapport au 5° et au 95° percentile de la distribution mensuelle. Le graphique de la figure 2 montre que les températures diminuent en décembre et en janvier (avec une Tmin autour au 5°C et Tmax autour au 15°C); en même temps, les valeurs les plus élevées sont enregistrées entre juillet et août, avec la Tmax qui atteint autour les 30°C et la Tmin de 18°C. Le printemps et l'automne montrent des valeurs intermédiaires et comparables. De plus, les mois de janvier, février et mars montrent une plus grande dispersion en termes de températures minimales, tandis qu'en été, la variabilité des températures maximales est plus grande (comme le montre la figure 2).

Pour ce qui concerne la précipitation Figure 3, les valeurs sont calculées en ajoutant les données quotidiennes sur une base mensuelle. Pour les précipitations, un pic important est observé en novembre (environ 100 millimètres / mois). En outre, novembre représente également le mois caractérisé par la plus grande dispersion; en fait, pour le mois de novembre, le 95° percentile est d'environ 270 millimètres, comparé à la valeur moyenne de 100 millimètres. En septembre et mai, on observe une dispersion comparable avec le 95° percentile d'environ 140 mm. En juillet sont enregistrées les valeurs mensuelles es plus basses autour de 10 mm / mois.

De plus, la figure 4 montre les séries chronologiques annuelles des températures maximale et minimale. La série chronologique de la température maximale est la seule pour laquelle le test de Mann Kendall a montré un test significatif (à un niveau de signification de 95%) sur la



période d'analyse. Les températures maximales et minimales se caractérisent par une tendance d'environ zéro. Ce résultat est également influencé par la présence de données manquantes entre ceux enregistrées par la station dans la période 1981-2010.

La tendance des anomalies de température minimale et maximale est illustrée à la Figure 5. En outre, dans le Tableau 2 sont indiqués les valeurs moyennes de température (minimale et maximale) et de précipitation cumulée sur échelle annuelle et saisonnier. En termes de température, on observe une température maximale moyenne autour 30°C pendant l'été et une température minimale moyenne d'environ 6°C pendant l'hiver. Par contre, en termes de précipitations, l'automne et l'hiver se révèlent être les saisons les plus humides (environ 200 mm) tandis que l'été se caractérise par une faible pluviométrie d'environ 34 mm.

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

	Stazione Alghero		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PR (mm)
Inverno (DJF)	5.7	14.3	207
Primavera (MAM)	8.7	19.3	136
Estate(JJA)	17	29.9	34
Autunno (SON)	12.4	23	204
Annua	11	21.7	566

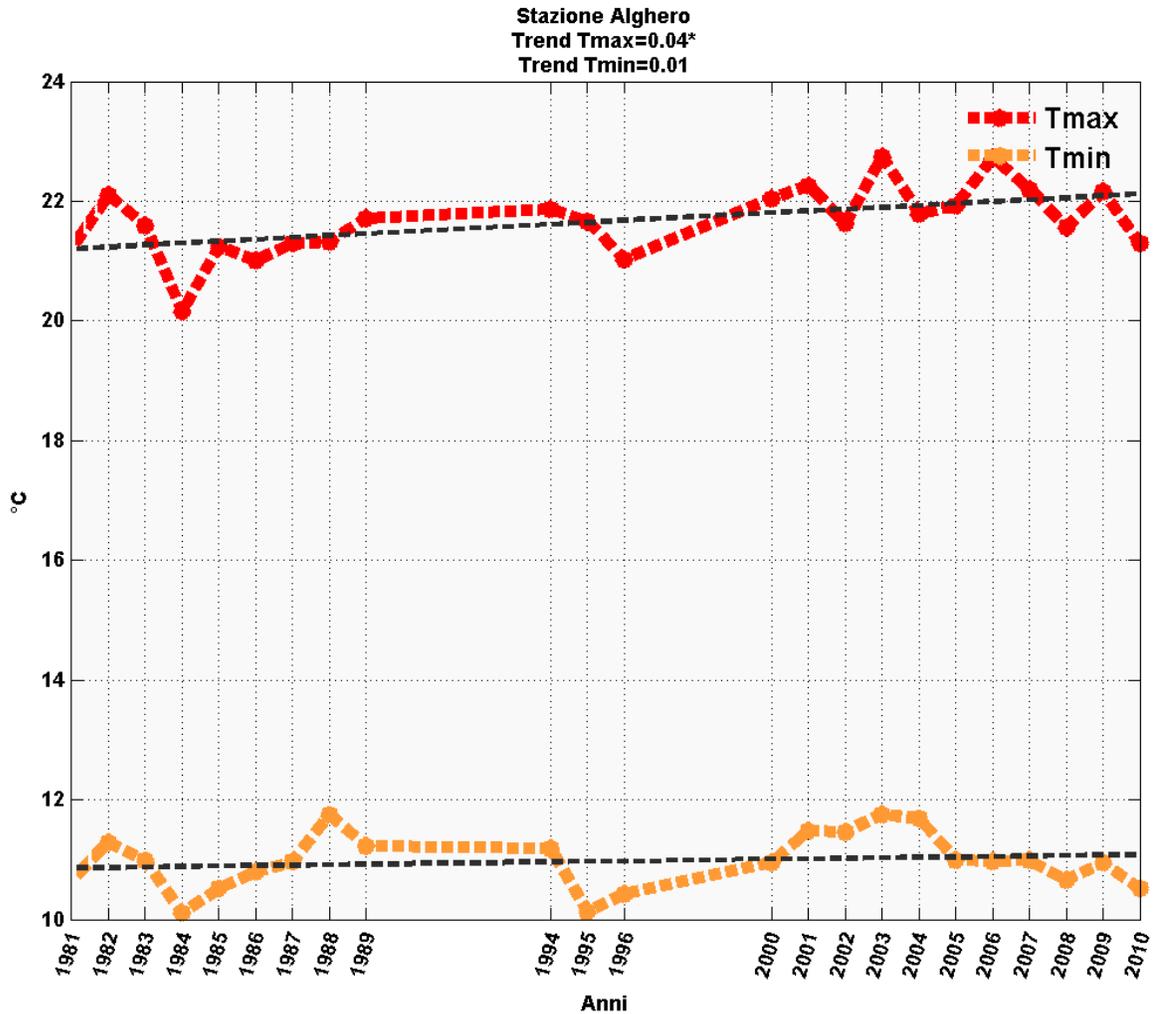


Figure 4: Séries chronologiques annuelles de la température maximale (Tmax) et la température minimale (Tmin) pour la station de Alghero. En noir, la ligne de tendance (les tendances statistiquement significatives sont identifiées par un astérisque).

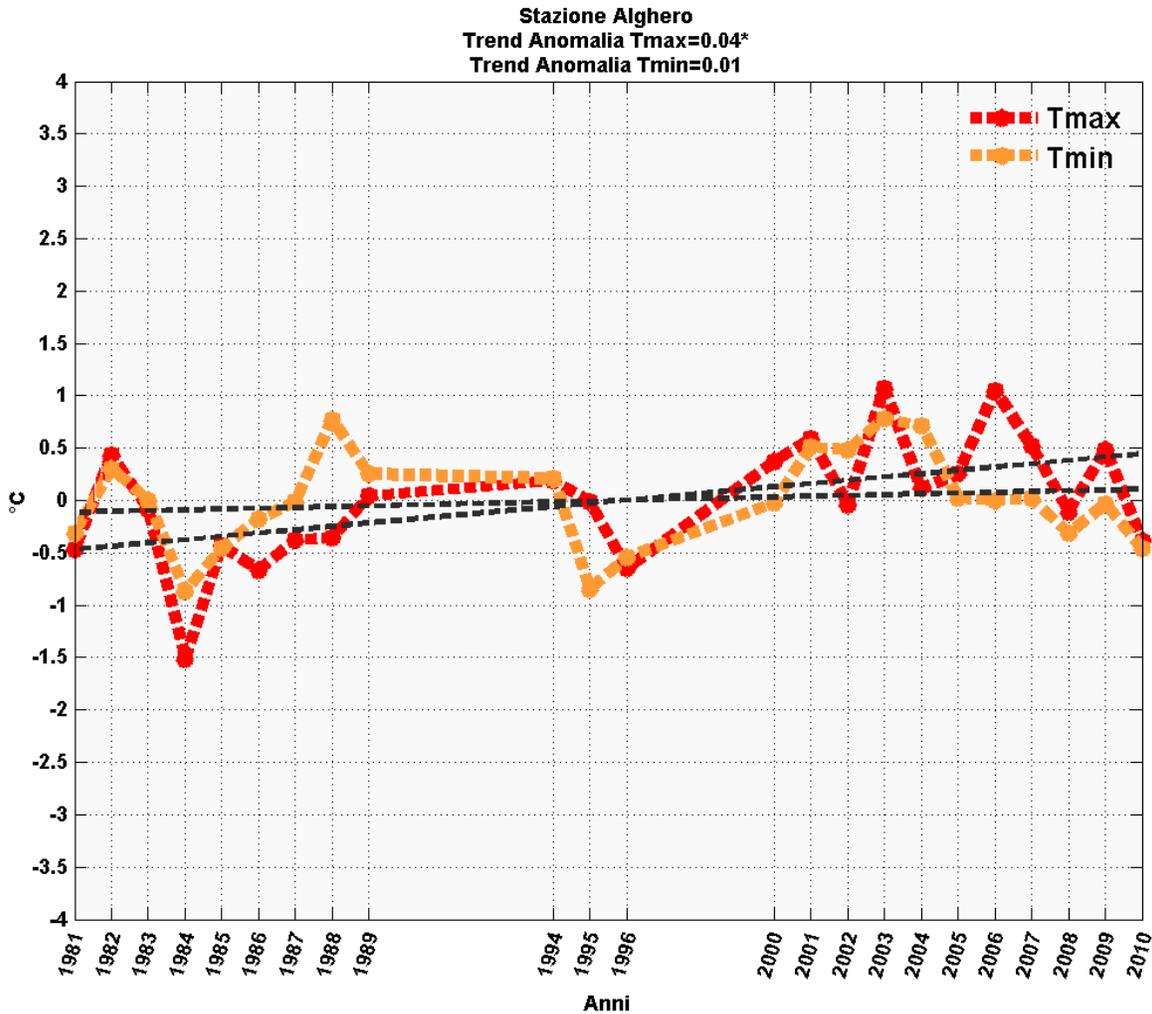


Figure 5: endance temporelle de l'anomalie de température maximale (Tmax) et de température minimale (Tmin) par rapport à la valeur moyenne de la période d'analyse pour la station Alghero. En noir, la ligne de tendance (les tendances statistiquement significatives sont identifiées par un astérisque).

Bien que les valeurs moyennes soient fondamentales pour la définition des caractéristiques climatiques moyennes, les valeurs extrêmes sont généralement capables de produire les problèmes les plus critiques sur le territoire avec des grandeurs et des caractéristiques différentes, surtout en fonction du contexte géomorphologique et de la construction actuelle. Pour cette raison, le tableau 3 présente, sur une base annuelle, les valeurs correspondant aux 95e et 99e percentiles des répartitions de précipitations (Pr) et de la température maximale (Tmax) et du 1° et 5° percentile de la distribution de température minimale (Tmin). Les percentiles renvoient l'intensité des valeurs les plus extrêmes, dans ces cas observés, avec des informations indirectes très utiles pour les études d'impact et pour le dimensionnement des infrastructures.



Tableau 3: Valeurs correspondant au 95° et au 99° percentile des distributions de précipitations (Pr) et de la température maximale (Tmax) et au 1er et 5ème percentile de la distribution de température minimale (Tmin).

	Station Alghero		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pr (mm)
1° percentile	-1.1	/	/
5° percentile	1.5	/	/
95° percentile	/	33.6	27
99° percentile	/	36.8	46

A des fins similaires, plusieurs indicateurs synthétiques (moyens et / ou extrêmes) sont couramment utilisés dans la littérature pour la connaissance des caractéristiques du climat local et pour démontrer la présence de changements climatiques déjà en cours. Les événements extrêmes sont définis comme des événements dont les caractéristiques diffèrent sensiblement de la moyenne climatologique de la zone. Ils peuvent être analysés à travers un ensemble d'indicateurs définis dans la littérature, par exemple ceux mis à disposition par ETCCDI ¹. Ces indicateurs décrivent principalement l'intensité et la fréquence des événements extrêmes en termes de précipitations et de température et sont certainement très utiles pour les études sectorielles ultérieures visant à évaluer les principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquels reposent les stratégies d'adaptation.

Dans le Tableau 4 ont été reportées des indicateurs ETCCDI [J], sélectionnée pour décrire la variabilité climatique de la zone géographique d'intérêt:

Tableau 4: Acronyme et définition des indicateurs utilisés pour caractériser les événements extrêmes.

Acronyme	Indicateur
SU	(summer days) nombre de jours par ans avec température maximale journalière supérieure de 25°C
TN/TR	(tropical nights) nombre de jours par ans avec température minimale supérieure de 20°C
R10	nombre de jours par ans avec précipitations supérieure
PRCPTOT	cumulée (somme) des précipitations annuelles pour les jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm
PRCPTOT DJF	cumulée (somme) des précipitations des mois d'hiver (décembre, janvier, février) pour les jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm
PRCPTOT SON	cumulée (somme) des précipitations des mois d'automne (septembre, octobre, novembre) pour les jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm
PRCPTOT MAM	cumulée (somme) des précipitations des mois de printemps (mars, avril, mai) pour les jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm

¹Ces indicateurs permettent d'estimer les caractéristiques d'événements identifiés comme "*moderately rare weather events*", et comprennent la fréquence, l'intensité et la persistance des conditions atmosphériques; ils sont largement utilisées pour évaluer la variation de ce type d'événements dans le contexte du changement climatique.



PRCPTOT JJA	cumulée (somme) des précipitations des mois d'été (juin, juillet, août) pour les jours avec précipitations supérieures ou égales à 1 mm
RX1DAY	Valeur maximale des précipitations sur 24 heures sur une base annuelle
RR1	nombre de jours par an des jours avec une pluie supérieure ou égale à 1 mm

La station d'Alghero se caractérise par un nombre moyen de jours par an avec une température maximale journalière supérieure à 25°C (SU) égale à 113 tandis que le nombre moyen de jours par an avec une température quotidienne minimale de plus de 20 ° C (TN) est 11.

En outre, Alghero se caractérise par des précipitations annuelles moyennes de 552 mm et des précipitations moyennes en hiver et en automne d'environ 200 mm; les précipitations moyennes en été sont plutôt les plus faibles (environ 30 mm). Les valeurs moyennes des indicateurs sélectionnés pour la période observée entre 1981 et 2010 sont indiquées dans le tableau 5 (à l'exception de l'indicateur Humidex, car pour son calcul, il faut tenir compte de la variable d'humidité relative que pour l'observé n'a pas été pris en considération). En comparant les résultats obtenus pour la station d'Alghero avec les caractéristiques climatiques identifiées par la macro-région 6, décrites dans le PNACC, on obtient des valeurs moyennes de températures similaires (la température moyenne annuelle identifiée dans la macro-région 6 est de 16 ° C tandis qu'à Alghero on observe une température minimale de 11 °C e une température maximale de 21.7 °C). En termes de précipitation, ils s'inscrivent valeurs comparables de précipitation (PNACC, 2017): pour la macro-région 6 on observe valeurs moyennes de précipitation hivernal (PR DJF) d'environ 179 mm (avec déviation standard +/-61 mm) et valeurs moyennes de précipitation d'été (PR JJA) de 21 mm (avec déviation standard +/-13mm).

Tableau 5: Valeurs moyenne des indicateurs individuels pour la période observée 1981-2010.

	SU [giorni/anno]	TN [giorni/anno]						
Alghero	113	11						
	R10 [giorni/anno]	PRCPTOT [mm/anno]	PRCPTOT DJF [mm/stagione]	PRCPTOT MAM [mm/stagione]	PRCPTOT JJA [mm/stagione]	PRCPTOT SON [mm/stagione]	RX1DAY [mm/5giorni]	RR1 [giorni/anno]
Alghero	18	552	201	132	32	200	53	66

Compte tenu également de la présence d'un nombre important de données non valides, aucune série chronologique annuelle des indicateurs considérés n'a révélé de test significatif (à un niveau de signification de 95%) sur la période de référence 1981-2010.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Scénarios climatiques locaux disponibles

Pour évaluer le climat à l'échelle régionale, il existe principalement deux techniques de "régionalisation" : celles de la statistique et celles dynamiques. Les deux techniques sont différentes en termes d'approche, de charge de calcul, de conditions préalables et de limites et, par conséquent, se caractérisent par des avantages et des inconvénients différents. Les techniques statistiques reposent sur l'utilisation de relations statistiques entre les variables prédictives synoptiques (à grande échelle) et locales, ces dernières étant disponibles au cours de longues séries d'observations des variables d'intérêt utiles pour dériver et valider les rapports statistiques, et ils ont l'avantage de vous permettre d'accéder au point / à la station.

Les techniques de downscaling dynamique utilisent, au contraire, modèles numériques en zones limitées. S'appuyant sur des lois physiques, ils parviennent généralement à apporter une réponse locale au réchauffement de la planète et à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre attendue dans le futur, mais ils sont parfois incapables, notamment en raison de la résolution des paramétrisations adoptées, de cueillir des caractéristiques en détail.

En outre, plusieurs études de la littérature montrent comment la résolution spatiale de ces modèles, actuellement d'environ 10 km, et la possibilité d'avoir une bonne prévisibilité à l'échelle quotidienne, les indiquent comme étant les plus appropriés pour être utilisés comme input aux modèles d'impacts pour évaluer quantitativement comme le changement climatique affectera sur leur variation (en fréquence et en ampleur).

Dans ce travail, l'analyse des projections du changement climatique à l'échelle locale est effectuée en utilisant les résultats obtenus sur l'Italie avec la technique de «downscaling dynamique» (régionalisation dynamique en particulier les données simulées ont été utilisées par les différents modèles climatiques régionaux disponibles dans le programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>)).

Ces simulations permettent, en fonction du scénario IPCC identifié pour ce qui concerne la tendance future attendue pour la concentration de gaz nocives jusqu'à 2100 (Van Vuuren et al., 2011), d'évaluer l'évolution prévisible des paramètres atmosphériques d'intérêt, en particulier température et précipitation. Les futures projections climatiques ont été obtenues en considérant deux scénarios différents IPCC: RCP4.5 e RCP8.5 à la fin d'évaluer la valeur moyenne (ensemble mean) des projections climatiques par rapport aux deux scénarios considérées 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 que plus coûteuse d'un point de vue méthodologique et informatique, permet d'estimer l'incertitude associée au scénario de variation de la variable ou de l'indicateur climatique d'intérêt. Veuillez-vous référer à la documentation pertinente pour plus de détails concernant ce problème.

Les variations attendues des valeurs moyennes et extrêmes de température et de précipitations pour la ville d'intérêt, présentées ci-dessous, ont été calculées à partir de la moyenne spatiale d'un nombre limité de points de grille du modèle qui délimite la municipalité d'Alghero. Plus précisément, pour caractériser les anomalies climatiques attendues, une boîte composée de 9



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



points de grille a été sélectionnée pour les modèles de simulation utilisés, centrée sur le point d'observation disponible.

Ce paragraphe présente les anomalies des variables climatiques et des indicateurs retenus sur les trois futurs 30 ans d'intérêt par rapport à la période de référence 1981-2010. Les trente ans future indiqués, largement utilisés dans la littérature, sont les suivants:

- ✓ 2011-2040 (court terme)
- ✓ 2041-2070 (moyen terme)
- ✓ 2071-2100 (long terme)

Les anomalies, obtenues comme différence entre les valeurs moyennes des indicateurs pour les périodes futures et pour la période de référence 1981-2010, sont exprimées en valeur absolue pour la température et en pourcentage pour les précipitations. Les anomalies climatiques sont basées sur la différence entre deux périodes, un futur et un de référence, toutes deux d'une durée de 30 ans. Cette longueur est considérée comme suffisante pour la caractérisation des valeurs moyennes et des extrêmes des variables atmosphériques d'intérêt (IPCC 2013a).

Dans cette section, suivant une approche multi-modèles et multi-scénarios, ont été obtenus les résultats suivants :

- moyenne (obtenue à partir des différents modèles disponibles) d'anomalies saisonnières et annuelles des variables d'intérêt pour les différentes périodes futures et pour les différents scénarios choisis du IPCC;
- moyenne (obtenue à partir des différents modèles disponibles) des anomalies annuelles des indicateurs sélectionnés pour les différentes périodes futures et pour les différents scénarios choisis du IPCC;
- dispersion autour de la valeur moyenne des indicateurs sélectionnés (approche multi-modèle). L'amplitude de la dispersion a été obtenue en utilisant l'écart type des variables (ou des indicateurs climatiques).

En première analyse, le tableau 6 présente les valeurs des anomalies (en termes de moyenne des anomalies des différents modèles), des températures et des précipitations annuelles et saisonnières pour les trois périodes d'intérêt et des deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5, pour le boîte qui comprend la municipalité considérée.

On peut voir à partir de ce tableau que, en termes de précipitations, en général, une diminution de la pluviométrie annuelle moyenne (2041-2070) est prévue conformément au RCP4.5 et au scénario à long terme (2071-2100) conformément à la Scénario RCP8.5. En particulier, à court terme (2011-2040), les scénarios indiquent une diminution des précipitations estivales, tandis qu'à moyen et long terme, une diminution est attendue au printemps et en été, ce qui est plus important si l'on considère le scénario RCP8.5 pour la période 2071. 2100. En termes de température, une augmentation générale est attendue avec une intensité croissante à long terme et supérieure si l'on considère le scénario RCP8.5. Compte tenu des deux scénarios, la



plus forte augmentation est attendue en été pour les trois périodes analysées. en particulier, avec le scénario RCP8.5, dans la période la plus éloignée (2071-2100), une augmentation des températures supérieures à 4 ° C en été est également atteinte en moyenne.

Tableau 6: Anomalies (en termes d'anomalies moyennes des différents modèles) de température saisonnière (moyenne, minimum et maximum, en ° C) et de précipitations (%) pour les deux scénarios et les trois périodes d'intérêt, pour la boîte qui comprend la commune d'Alghero .

ALGHERO											
	RCP4.5					RCP8.5					
	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	1	3	0	-5	4	1	0	2	-9	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)	0.7	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	0.6	1.0	0.9	
Pr (%)	-2	0	-6	-16	3	0	3	-8	-8	5	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)	1.4	1.3	1.1	1.9	1.5	2.0	1.8	1.7	2.4	2.2	
Tmax (°C)	1.4	1.2	1.1	1.9	1.4	2.0	1.7	1.8	2.4	2.2	
Pr (%)	0	3	-8	-5	2	-8	-6	-16	-27	-3	2071-2100
Tmin (°C)	1.9	1.7	1.5	2.3	2.1	3.6	3.1	3.0	4.4	4.0	
Tmean (°C)	1.9	1.7	1.6	2.2	2.0	3.6	3.1	3.1	4.4	3.9	
Tmax (°C)	1.9	1.7	1.7	2.2	2.0	3.7	3.1	3.3	4.4	3.8	

En outre, la moyenne d'ensemble des anomalies (figures 6-7-8) des indicateurs de température et de précipitation extrêmes a été analysée.

En termes de température, à la figure 6, dans la municipalité d'Alghero, une augmentation considérable du nombre de jours par an est attendue avec des températures maximales supérieures à 25 ° C (su) et un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20 ° C (tr), plus prononcé à long terme et compte tenu du scénario le plus pessimiste.

En termes de précipitations, la figure 7 montre qu'une augmentation des maximums de précipitations journalières (rx1 jour) est attendue, plus prononcée au cours de la période 2071-2100 et compte tenu du scénario RCP8.5. Par contre, une réduction du nombre de jours pluvieux (rr1) est attendue et, compte tenu du scénario RCP8.5 à long terme, est attendue une diminution du nombre de jours avec une précipitation supérieure à 10 mm (r10) et de la cumulée de précipitation annuelle dans les jours de pluie (prcptot). En particulier, dans le graphique 8, une forte diminution du prcptot au printemps et en été est évidente, plus prononcée au cours de la période 2071-2100 selon le scénario RCP8.5. En annexe 1, nous montrons les mêmes résultats obtenus en termes de moyenne pondérée des différents modèles qui contribuent à l'évaluation des différents indicateurs en utilisant l'approche expérimentale



fournie par Giorgi et Mearns (2002), connue sous le nom de "REA" (Reliability Ensemble Averaging). Plus précisément, cette approche repose sur l'hypothèse de donner un plus grand poids aux modèles qui présentent aujourd'hui de meilleures performances en représentant les tendances des variables d'intérêt (moyennes et extrêmes).

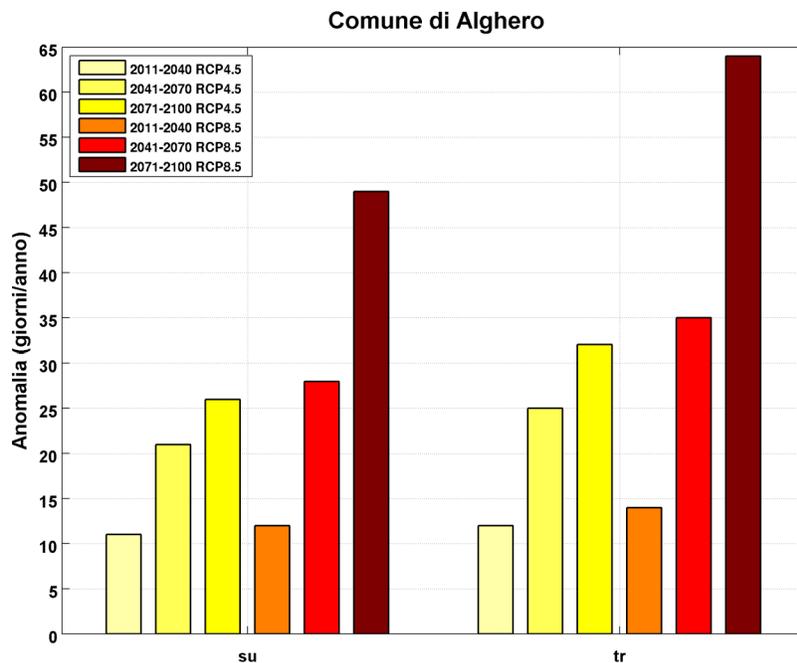


Figure 6: Anomalies des indicateurs de température pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010

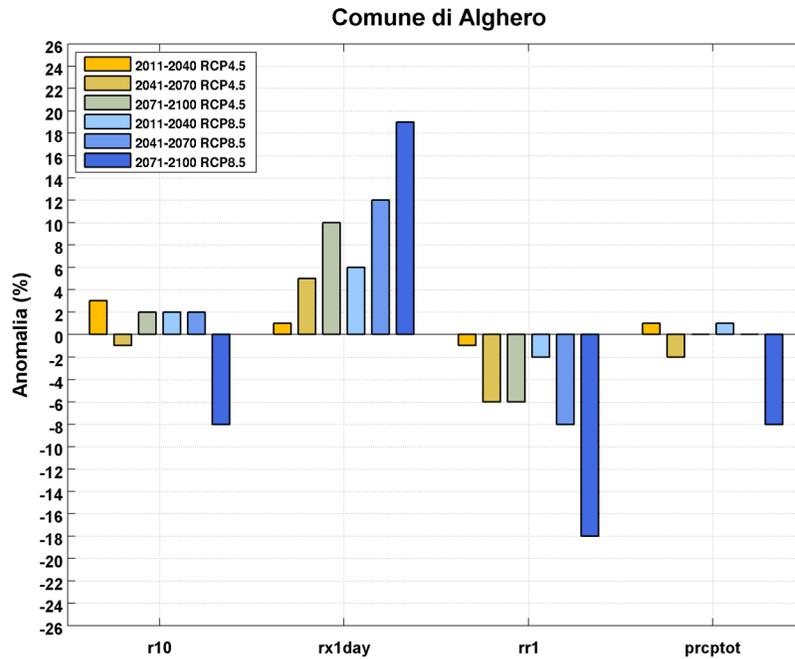
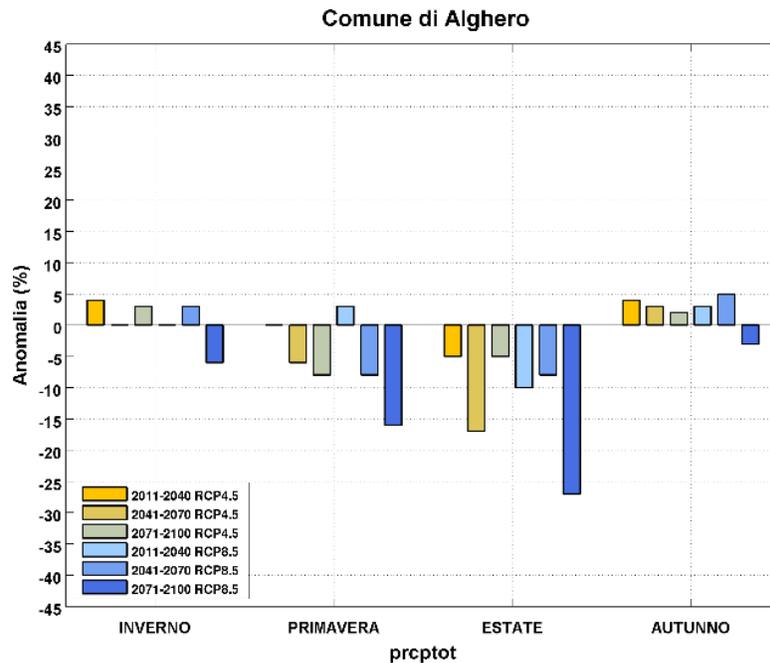


Figure 7: Anomalies des indicateurs de précipitation pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.





Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 8: Anomalie saisonnière de l'indicateur de précipitation prcptot pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.

Dans ce qui suit, a été utilisé le test de Mann-Kendall (Kendall,1975) avec un niveau de confiance de 95% pour évaluer la signification statistique de la tendance croissance / diminution au niveau municipal des indicateurs susmentionnés calculés à partir des modèles EURO-CORDEX. Les figures de 9 à 14 montrent les séries chronologiques des valeurs annuelles des indicateurs de températures extrêmes (Figure 9 et Figure 10) et des précipitations (Figures 11 à 14), tandis que les Figures de 15a à 18 montrent les séries chronologiques des valeurs saisonnières de l'indicateur prcptot. De plus, les valeurs de la tendance moyenne des modèles EURO-CORDEX sont présentées pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5: les tendances statistiquement significatives sont identifiées par un astérisque. Les zones ombrées, présentes sur ces figures, représentent le *range* d'incertitude obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard de la distribution des données simulées dans les modèles EURO-CORDEX. De plus, chaque figure est associée à un tableau contenant le nombre moyen de modèles entrant dans le *range* d'incertitude. En termes de température, sur les figures 9 et 10, conformément au scénario RCP8.5, on peut observer une augmentation significative des indicateurs su et tr qui est plus élevée à long terme, tandis que l'augmentation est plus modérée selon le scénario RCP4. 0,5. En ce qui concerne la dispersion des modèles autour de la moyenne d'ensemble, dans la figure 9, la plage d'incertitude montre une variabilité contenue dans laquelle 11 modèles sur 18 sont en moyenne. Dans la figure 10, au contraire, le *range* d'incertitude est plus large et contient en moyenne 12 modèles sur 18.



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

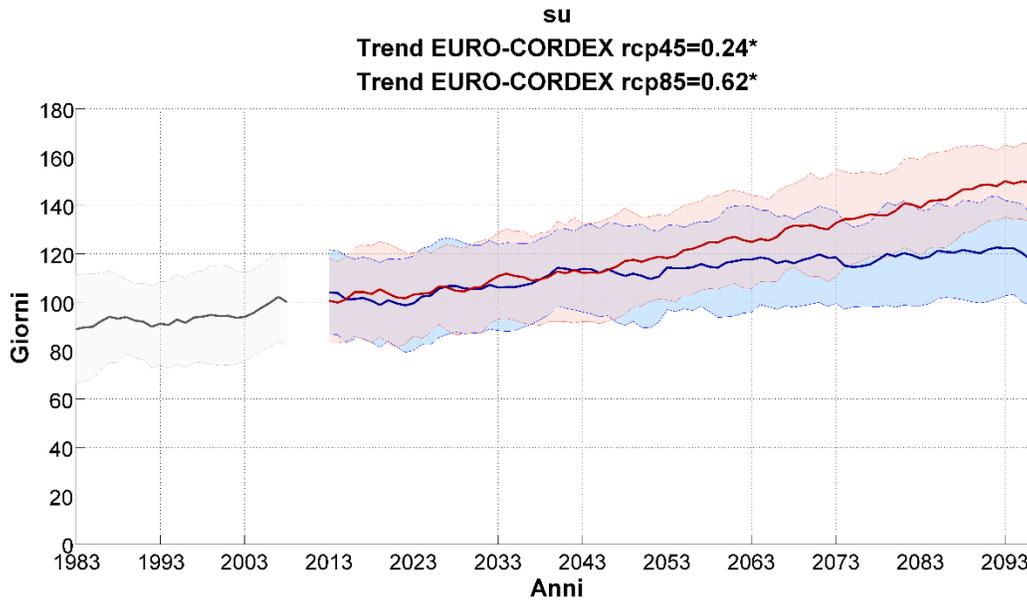


Figure 9: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur su, compte tenu de la période historique (en gris) et des scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne sombre épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et qui ont fourni un 'évaluation de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans le <i>range</i> d'incertitude	11/18	11/18	11/18



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

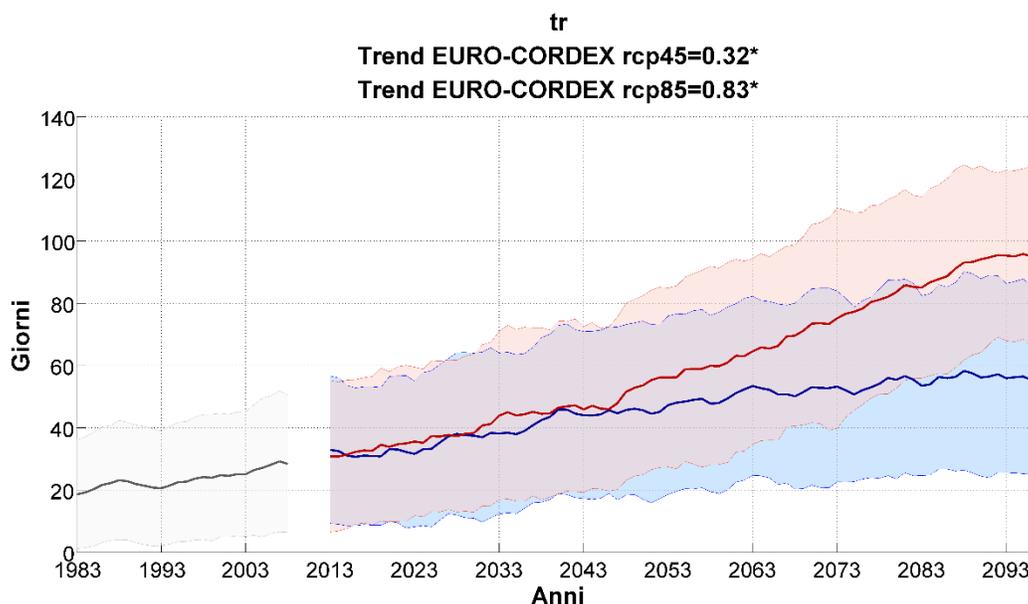


FigurE 10: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur tr, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en médiant les valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent le range obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans le <i>range</i> d'incertitude	13/18	12/18	12/18

En termes de précipitations, à la figure 11, selon le scénario RCP8.5, on peut observer une légère diminution statistiquement significative du nombre de jours avec des précipitations supérieur ou égal à 10 mm. Le scénario RCP4.5, en revanche, présente un signal stationnaire mais le résultat n'est pas statistiquement significatif. Selon les deux scénarios, la figure 12 montre une augmentation statistiquement significative des niveaux de précipitations journaliers, par rapport à la figure 13, est attendue une tendance à la baisse statistiquement significative du nombre de jours de pluie, plus évidente selon le scénario RCP8.5, cela suggère que les



précipitations pourraient être concentrées dans quelques événements extrêmes. En termes de dispersion, sur les figures 11, 12 et 13, il existe une plage d'incertitude assez large, généralement constante sur toute la période, dans laquelle la plupart des modèles tombent.

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

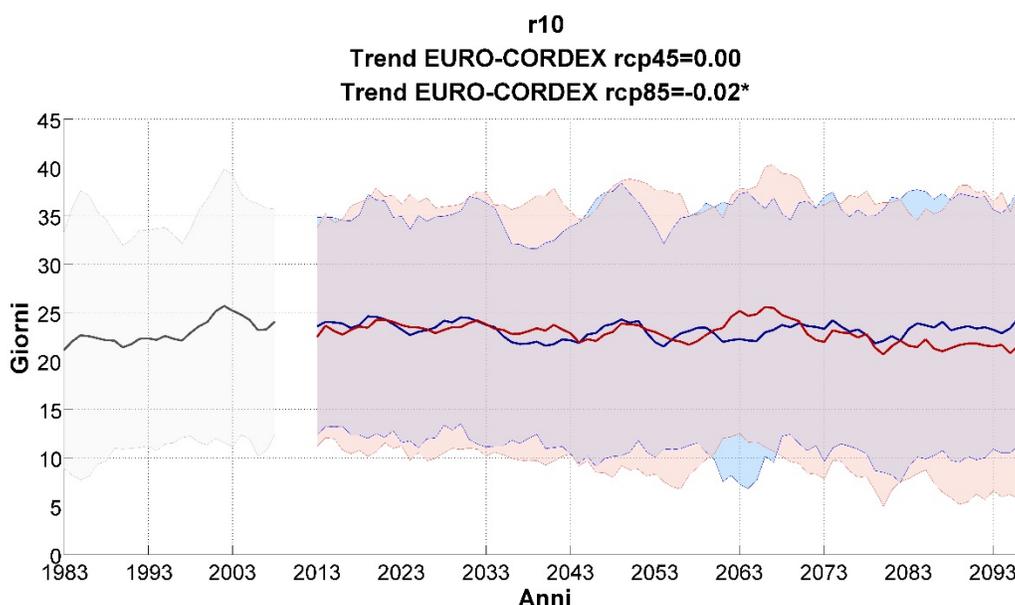


Figure 11: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur r10, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



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

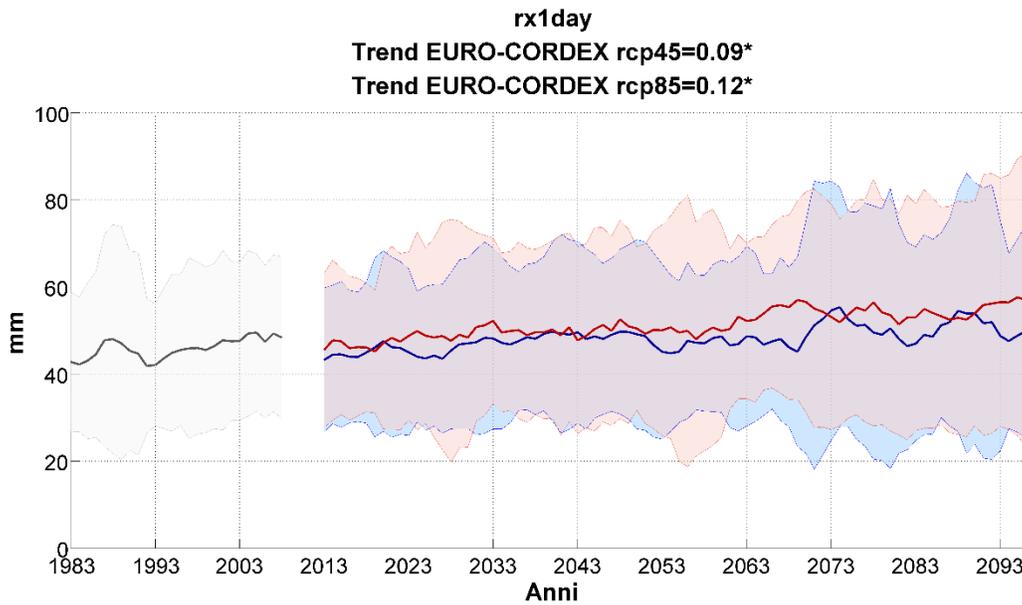


Figure 12 Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur rx1day, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent le range obtenue en additionnant et en soustrayant des valeurs simulées par des modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



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

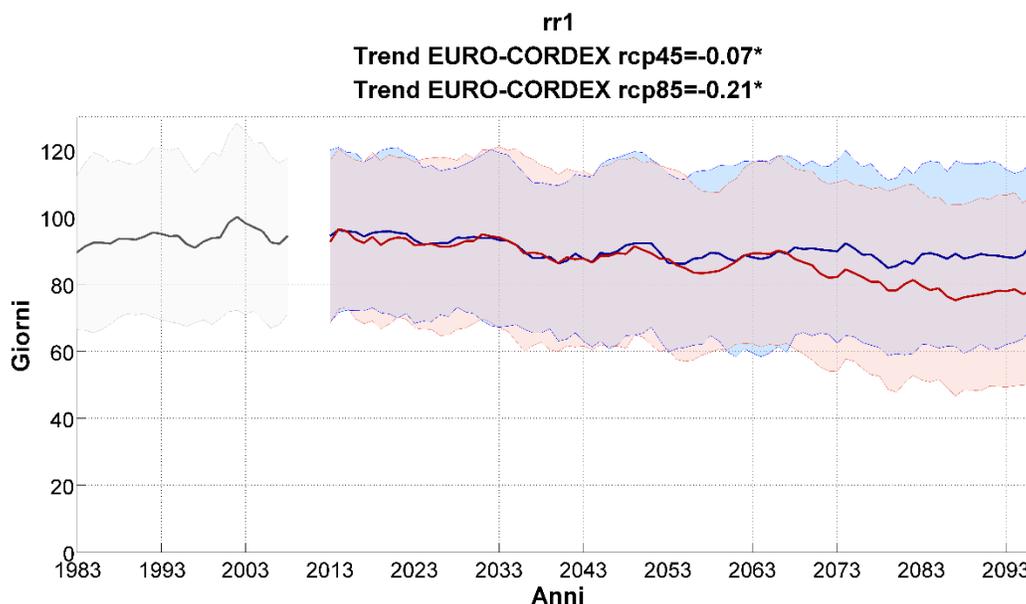


Figure 13 Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur rr1, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans le range d'incertitude	14/18	13/18	14/18

Dans la Figure 14, selon les deux scénarios, il n'y a pas de tendance statistiquement significative pour l'indicateur prcptot sur une échelle annuelle. En général, le range d'incertitude montre une plus grande variabilité à long terme pour les deux scénarios. En revanche, pour cet indicateur, une tendance à la baisse statistiquement significative est attendue au printemps et une tendance à la croissance statistiquement significative en été (Figure 16 et Figure 17). Dans tous les cas, le range d'incertitude est assez large tout au long de la période.



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

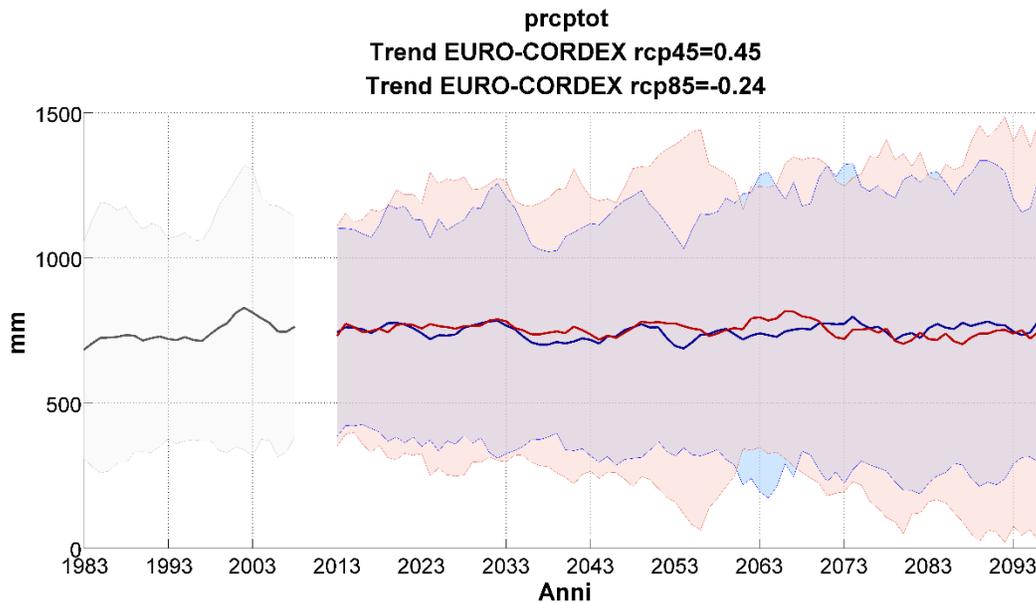


Figure 14 Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



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

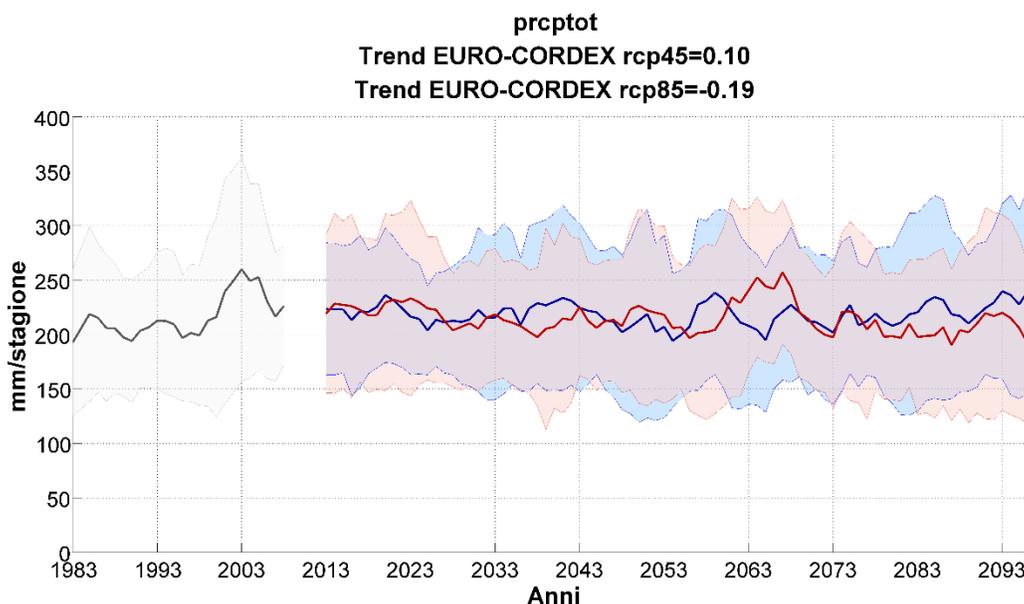


Figure 15 Les prévisions climatiques hivernales (DGF) des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans le range d'incertitude	12/18	12/18	12/18



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

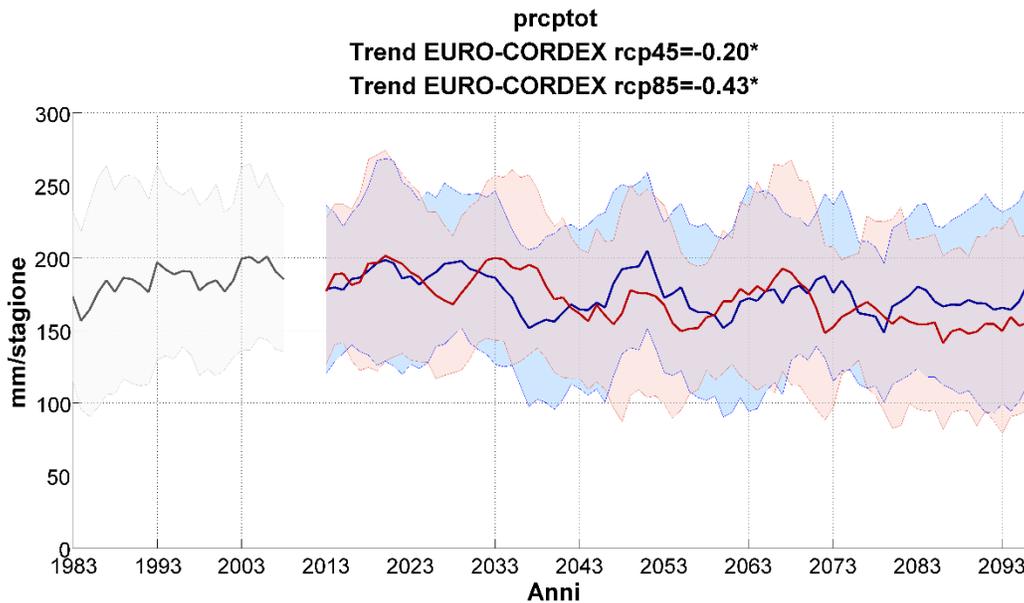


Figure 16: Projections climatiques printanières (MAM) des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



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

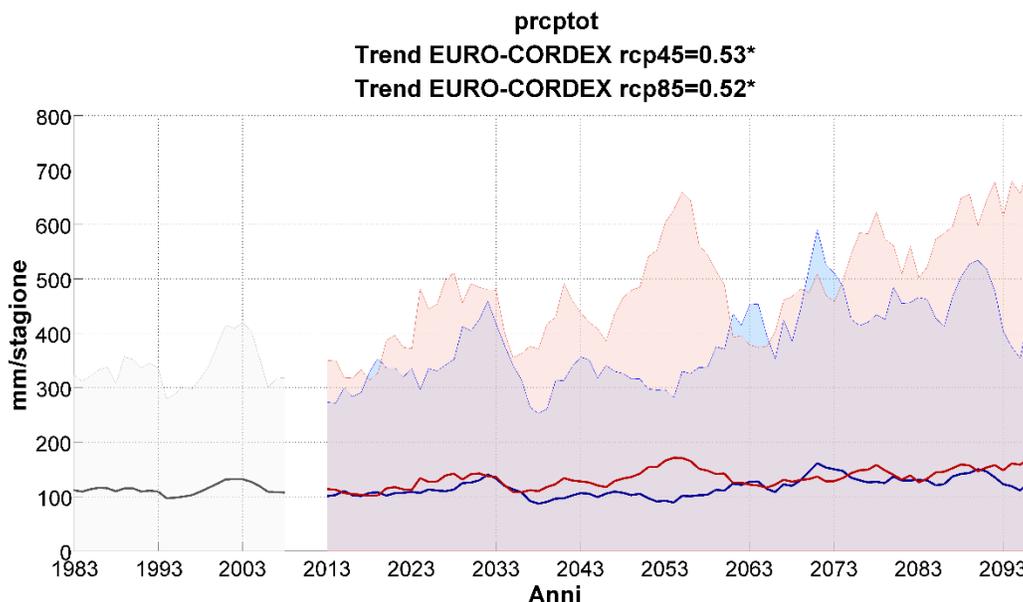


Figure 17: Les projections climatiques estivales (GLA) des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



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

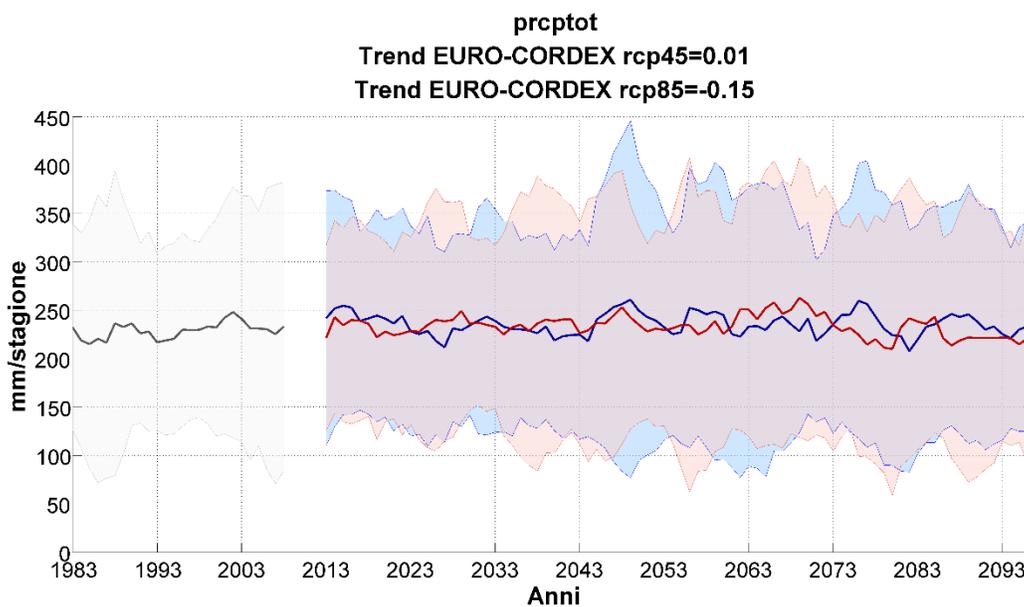


Figure 18 Projections climatiques du printemps (SON) des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur prcptot, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées; les zones ombrées représentent la gamme obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart standard des valeurs simulées par les modèles et en fournissant une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et communes entre la période historique et les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été prises en compte, à savoir 18. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une période de 5 ans.

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Conclusions

Une caractérisation de la *variabilité climatique locale* observée pour la municipalité d'Alghero a été présentée sur la période 1981-2010 à partir des données de température (minimum et maximum) et des précipitations de la station d'Alghero, dont la source est le *service météorologique de l'armée de l'air italienne à travers l'ARPAS*. Plus précisément, les valeurs moyennes et extrêmes des variables de température et de précipitation ont été évaluées. En particulier, les indicateurs sélectionnés pour décrire la variabilité climatique de la zone géographique d'intérêt seront très utiles pour les études sectorielles ultérieures visant à évaluer les principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquels sont basées les stratégies d'adaptation et d'atténuation. En termes de température, une température maximale moyenne d'environ 30 ° C est observée en été et une température moyenne minimale d'environ 6 ° C en hiver. Au contraire, en termes de précipitations, l'automne et l'hiver se révèlent être les saisons les plus humides (environ 200 mm) tandis que l'été se caractérise par une faible pluviométrie d'environ 34 mm. En termes de précipitations, la station d'Alghero se caractérise par un nombre moyen de jours par an avec une température maximale quotidienne supérieure à 25 ° C (SU) égale à 113, tandis que le nombre moyen de jours par an avec une température quotidienne minimale supérieure à 20 ° C (TN) est égal à 11.

En outre, Alghero se caractérise par des précipitations annuelles moyennes de 552 mm et des précipitations moyennes en hiver et en automne d'environ 200 mm; les précipitations moyennes en été sont plutôt les plus faibles (environ 30 mm). Ce qui suit était un résumé des projections climatiques futures pour le court terme (2011-2040), le moyen terme (2041-2070) et le long terme (2071-2100) en utilisant les données simulées des différents modèles climatiques régionaux disponibles dans du programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>). Les futures projections climatiques ont été obtenues en considérant deux scénarios différents du GIEC: RCP4.5 et RCP8.5 afin d'évaluer la valeur moyenne (moyenne globale) des projections climatiques par rapport aux deux scénarios considérés et à l'incertitude associée (Kotlarski et al., Jacob et al., 2014). L'utilisation de tous les modèles disponibles dans le programme EURO-CORDEX, bien que plus coûteuse d'un point de vue méthodologique et informatique, a permis d'estimer l'incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou de l'indicateur climatique d'intérêt. Ces analyses montrent une augmentation générale des températures avec une intensité croissante à long terme et supérieure si l'on considère le scénario RCP8.5. Compte tenu des deux scénarios, la plus forte augmentation est attendue en été pour les trois périodes analysées; en particulier, avec le scénario RCP8.5, dans la période la plus éloignée (2071-2100), une augmentation des températures supérieures à 4 ° C en été est également atteinte en moyenne. En termes de précipitations, en général, une diminution des précipitations annuelles à moyen terme (2041-2070) est prévue selon le scénario RCP4.5 et le scénario à long terme (2071-2100), conformément au scénario RCP8.5. En particulier, à court terme (2011-2040), les scénarios indiquent une diminution des précipitations estivales, tandis



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



qu'à moyen et long terme, une diminution est attendue au printemps et en été, ce qui est plus important si l'on considère le scénario RCP8.5 pour la période 2071-2100.

Enfin, en termes d'extrêmes dans la municipalité d'Alghero, une augmentation nette du nombre de jours par an est attendue avec des températures maximales supérieures à 25 ° C (su) et du nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20 ° C (tr), plus prononcé à long terme et compte tenu du scénario le plus pessimiste. En termes de précipitations, il est clair qu'une augmentation des maximums de précipitations journalières (rx1 jour) est attendue, plus prononcée sur la période 2071-2100 et compte tenu du scénario RCP8.5. Par contre, une réduction du nombre de jours pluvieux (rr1) est attendue et, compte tenu du scénario RCP8.5 à long terme, est attendu une diminution du nombre de jours avec une précipitation supérieure à 10 mm (r10) et de la cumulée des précipitations annuelles dans les jours de pluie (prcptot). Cela suggère que les précipitations pourraient être concentrées dans quelques événements extrêmes. Le vue climatique local de la municipalité d'Alghero, obtenu à partir des observations et des projections climatiques actuellement disponibles, sera utilisé comme outil de soutien et de synthèse par des experts dans des études d'impact spécifiques.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Glossaire²

Anomalie: L'écart d'une variable par rapport à sa valeur moyenne sur une période de référence.

Anthropogénique: Causé par des êtres humains.

Changement climatique: avec le terme changement climatique on se réfère au changement de l'état du climat qui persiste pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus) et qui est identifiable (par exemple, au moyen de tests statistiques) par des changements dans la moyenne et / ou la variabilité de ses propriétés. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus naturels internes ou à un forçage externe, tels que des modulations du cycle solaire, des éruptions volcaniques et des changements anthropiques répétés dans la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des terres. Il convient de noter que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article 1, définit le changement climatique comme: "un changement climatique, directement ou indirectement attribuable à l'activité humaine, qui modifie la composition de l'atmosphère globale et ajoute à la variabilité climatique naturelle observée au cours de périodes comparables ". Par conséquent, la CCNUCC établit une distinction entre les changements climatiques imputables aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère et la variabilité climatique attribuable à des causes naturelles.

Cycle saisonnier: moyenne mensuelle, sur les trente années considérées, de la variable d'intérêt. Aussi appelé cycle annuel.

Climat: Le climat au sens strict est généralement défini comme le temps moyen ou, plus rigoureusement, comme la description statistique en termes de moyenne et de variabilité des quantités pertinentes, sur une période de temps allant de plusieurs mois à des millions d'années. La période classique de calcul de la moyenne de ces variables est de trente ans, selon la définition de l'Organisation météorologique mondiale (WMO - World Meteorological Organisation). Les grandeurs pertinentes sont dans la plupart des cas des variables de surface, telles que la température, les précipitations et les vents. Dans un sens plus large et général, le climat est l'état, avec l'inclusion d'une description statistique, du système climatique.

Extrêmes climatiques: L'occurrence de la valeur d'une variable atmosphérique supérieure (ou inférieure) à une valeur de seuil proche de la limite supérieure (ou inférieure) de la gamme de valeurs observée de la variable. Sont considérés comme des synonymes les événements extrêmes, les événements météorologiques extrêmes

Impact (conséquences, résultats): les effets sur les systèmes naturels et humains. Dans le rapport du WGII AR5 dell'IPCC, le terme impacts est principalement utilisé pour désigner les effets des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et du changement climatique sur les systèmes naturels et humains. Les impacts se réfèrent généralement aux effets sur les personnes, le logement, la santé, les écosystèmes, les biens et les ressources économiques,

² Glossario estratto da Caciagli L. Glossario minimo dell'IPCC http://www.cmcc.it/wpcontent/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

sociaux et culturels, les services (y compris environnementaux) et les infrastructures dus à l'interaction des changements climatiques dans une période de temps spécifique et à la vulnérabilité d'une entreprise ou d'un système exposé au changement climatique. On se réfère, an autre, aux impacts des changements climatiques compris comme conséquences et résultats. Les impacts des changements climatiques sur les systèmes géophysiques, y compris les inondations, les sécheresses et l'élévation du niveau de la mer, représentent un sous-ensemble d'impact appelé impacts physiques.

Niveau moyenne de la mer: Le niveau de la surface des océans à un moment donné, en faisant la moyenne sur une période prolongée, par exemple un mois ou une année. Le niveau moyen de la mer est souvent utilisé comme référence nationale par hauteurs de terrain.

Model climatique: La représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, sur leurs interactions et leurs processus de rétroaction, en tenant compte de certaines leurs propriétés connues. Le système climatique peut être représenté par des modèles de complexité variable; c'est-à-dire que pour chaque composant ou combinaison de composants, un spectre ou une hiérarchie de modèles peut être identifié, différent à certains égards, comme le nombre de dimensions spatiales, la portée dans laquelle les processus physiques, chimiques ou biologiques sont représentés explicitement, ou le degré de paramétrisation empirique utilisé. Les modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (AOGCM - CoupledAtmosphere-Ocean CirculationModels) fournissent une représentation du système climatique proche ou le plus complet du spectre actuellement disponible. Il existe une évolution vers des modèles plus complexes avec la chimie interactive et la biologie. Les modèles climatiques sont utilisés comme outils de recherche pour étudier et simuler le climat, ou à des fins opérationnelles, y compris les prévisions météorologiques sur une base mensuelle, saisonnière et interannuelle.

Model climatique régional: c'est un modèle climatique caractérisé par une plus grande résolution spatio-temporelle par rapport aux modèles de circulation générale; ils sont capables de dériver les caractéristiques du climat à l'échelle régionale (c'est-à-dire entre environ 10 et 50 km)

Percentile : Le percentile est une valeur sur une échelle de 100 qui indique le pourcentage de valeur du dataset analysé qui a des valeurs inférieures ou égales à celui-ci. Le percentile est souvent utilisé pour estimer les extrêmes de la distribution. Par exemple, le 90ème (10ème) percentile peut être utilisé comme référence pour le seuil des valeurs les plus élevées (basses).

Période de référence: la période de référence est l'état du système par rapport auquel le changement est mesuré. Dans le document actuel, il représente la période à laquelle les valeurs atmosphériques se réfèrent.

Projection climatique: une projection climatique est la réponse simulée du système climatique à un scénario d'émissions ou de concentrations futures de gaz à effet de serre et d'aérosols, généralement dérivés en utilisant de modèles climatiques. Les projections climatiques sont différentes des prévisions météorologiques car elles dépendent du scénario d'émission / concentration / forçage radiatif utilisé, fondé sur des hypothèses concernant, par exemple, les développements socio-économiques et technologiques futurs qui pouvant être réalisés ou non.

[La cooperazione al cuore del Mediterraneo](#)

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Scénario climatique: la représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, basée sur un ensemble de relations climatologiques internes cohérentes, construit pour son utilisation explicite dans l'étude des conséquences potentielles du changement climatique anthropique, et qui sert souvent comme input aux modèles d'impact. Les projections climatiques servent souvent de matière première pour la construction de scénarios climatiques, mais les scénarios climatiques nécessitent généralement des informations supplémentaires, telles que le climat actuel observé.

Scénario d'émission: La représentation plausible du développement futur des émissions de substances qui sont potentiellement actives par la radioactivité (par exemple, les gaz à effet de serre et les aérosols), fondées sur un ensemble cohérent et en fonction des forces motrices (développement démographique et socio-économique et changements technologiques) et leurs relations clés. Les scénarios de concentration, dérivés des scénarios d'émission, sont utilisés comme input pour les modèles climatiques afin de calculer les projections climatiques. Dans le rapport IPCC (1992) a été présentée une série de scénarios d'émission, qui est utilisée comme base pour les projections climatiques du IPCC (1996). Ces scénarios d'émission sont cités comme scénarios IS92. Scénarios d'émission, appelés scénarios SRES, ont été publiés dans le Rapport Spécial sur les scénarios du IPCC (Special Report on Emission Scenarios; Nakićenović et Swart, 2000), et certains d'eux ont été utilisés, entre autres, comme base pour les projections climatiques présentées dans les chapitres 9 à 11 du rapport du IPCC de 2001 et les chapitres 10 et 11 du rapport du IPCC de 2007. Les nouveaux scénarios d'émission pour le changement climatique, les quatre Representative Concentration Pathway, ont été développés pour, mais indépendamment de, la présente évaluation du IPCC.

Température de surface moyenne globale: une estimation de la température moyenne globale de la surface de l'air. Cependant, en raison des changements au fil du temps, seules des anomalies sont utilisées, telles que des écarts par une climatologie, la plus souvent basées sur la moyenne mondiale pondérée par la surface de l'anomalie de la température de surface de la mer, et de l'anomalie de la température de l'air sur la surface de la terre.

Variabilité climatique: Le terme «variabilité climatique» désigne les variations de l'état moyen et d'autres statistiques (telles que l'écart standard, la survenue d'événements extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles ainsi que des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels, à l'intérieur du système climatique (variabilité interne) ou à des variations du forçage externe naturel ou anthropique (variabilité externe).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



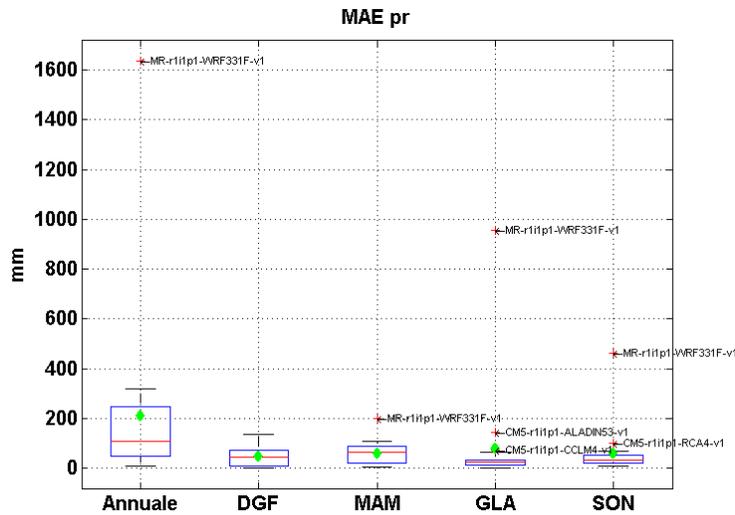
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Annexe 1: Reliability ensemble averaging

Afin d'évaluer l'exactitude des modèles EURO-CORDEX en reproduisant les observations pendant la période de référence, l'erreur absolue moyenne (EAM) de chaque modèle a été comparée aux observations. La figure 19 montre les box-plot qui décrivent la distribution des MAE des modèles EURO-CORDEX dans les variables d'intérêt (précipitations, températures maximales et minimales) sur une échelle annuelle et saisonnière. Le but de cette élaboration est de montrer, en termes de MAE, la présence de modèles très différents de la distribution du modèle (*outliers*). En particulier, dans la plupart des cas, les outliers (indiquées par un «+» rouge) représentent des modèles qui présentent une erreur supérieure à la moyenne de la distribution du modèle. Ce n'est que dans le cas de la température maximale de la saison hivernale (DGF) que les modèles LR-r1i1p1-REMO2009-v1 et LR-r2i1p1-REMO2009-v1, identifiés comme outliers, présentent l'erreur mineure par rapport aux données observées. Pour prendre en compte le fait que tous les modèles n'ont pas les mêmes performances, les résultats en termes de moyenne (ensemble mean), précédemment répertoriés, ont également été obtenus en utilisant l'approche de Giorgi et Mearns (2002), connue sous le nom de "REA" (reliability Ensemble Averaging). Cette approche repose sur l'hypothèse de donner plus de poids aux modèles présentant de meilleures performances sur le présent pour représenter les tendances des variables d'intérêt (moyennes et extrêmes). Les résultats obtenus en termes de moyenne pondérée des anomalies des modèles EURO-CORDEX sont donc présentés ci-dessous. Suivant cette approche, pour chaque modèle i , un facteur de fiabilité (pondération) est estimé de la manière suivante:

$$R_i = Rb_i * Rd_i$$

où Rb est le facteur correctif en termes de biais du modèle par rapport à celui observé, tandis que Rd est le facteur correctif en termes de convergence des anomalies des modèles



individuels.

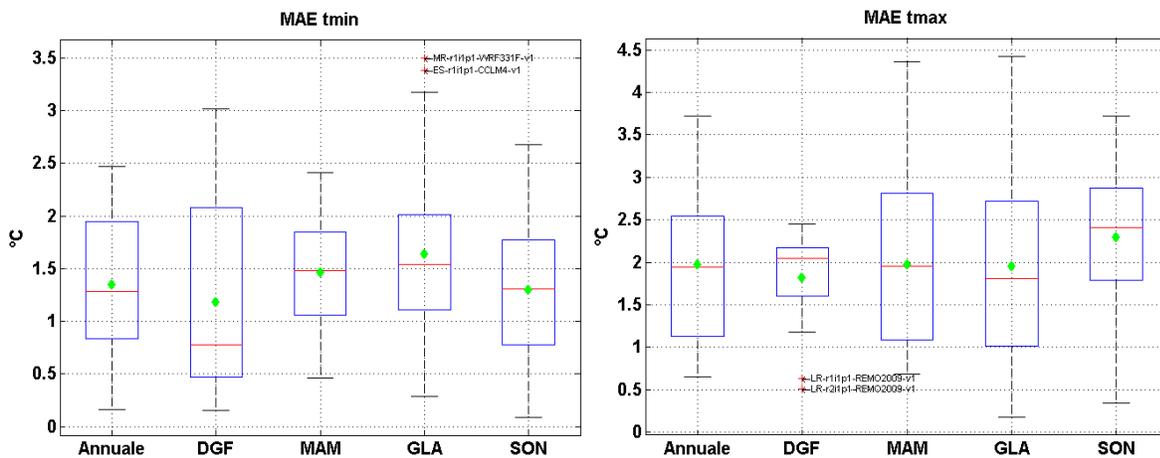


Figure 19: Box-plot des erreurs moyenne absolue (MAE) des modèles EURO-CORDEX en précipitations (pr) annuelles (mm / an) et saisonnières (mm / saison), températures minimales (tmin) et températures maximales (tmax) annuelles et saisonnières. La case bleue représente l'intervalle interquartile (IQR, les bords inférieur et supérieur de la case représentent respectivement les 25ème et 75ème percentiles) des erreurs en valeur absolue (MAE) des modèles EURO-CORDEX, tandis que la ligne rouge horizontale représente la médiane. Les moustaches représentent les valeurs à moins de 1,5 fois l'IQR. Les valeurs aberrantes sont suivies individuellement en utilisant le symbole «+» en rouge. De plus, le losange vert est la moyenne des MAE des modèles EURO-CORDEX.

Vous trouverez ci-dessous les résultats obtenus selon l'approche REA, qui se révèle être un critère de sélection expérimental basé sur leurs performances. Cette analyse doit être considérée en plus de celle présentée dans le document qui suit ce qui est actuellement, selon divers travaux de la littérature, à considérer comme la méthode de référence. C'est la méthode selon laquelle la moyenne d'ensemble doit être considérée comme une moyenne non pondérée de tous les modèles actuellement disponibles. Le tableau 7 indique les valeurs des anomalies



(en termes de moyenne pondérée des anomalies des différents modèles), annuelles et saisonnières des températures et précipitations pour les trois périodes d'intérêt et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour le box qui comprend la municipalité considérée. En général, les résultats obtenus sont similaires à ceux du tableau 6, on note, en outre, que dans le cas des précipitations la diminution est plus intense alors que dans le cas de la température maximale, en accord avec le scénario RCP8.5, dans la période plus long (2071-2100), est attendu une plus forte augmentation qui atteint 5 ° C en été. Il n'a pas été possible de déclarer ces valeurs pour la température moyenne (Tmean) car les données observées liées à cette variable ne sont pas disponibles, l'approche REA n'est pas applicable.

Tableau 7: Anomalies (en termes de moyenne pondérée des anomalies des différents modèles) température annuelle et saisonnière (moyenne, minimum et maximum, en ° C) et précipitations (%) pour les deux scénarios et les trois périodes d'intérêt, pour le box qui comprend la municipalité de Sassari.

	RCP4.5					RCP8.5					
	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	Annuale	DGF	MAM	GLA	SON	
Pr (%)	1	5	2	-7	5	0	1	6	-11	4	2011-2040
Tmin (°C)	0.8	0.7	0.6	1.0	0.8	0.9	0.7	0.7	1.1	1.0	
Tmax (°C)	0.7	0.6	0.5	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	1.1	0.9	
Pr (%)	-4	0	-6	-23	2	-2	4	-7	-22	5	2041-2070
Tmin (°C)	1.5	1.2	1.1	1.9	1.5	2.2	1.8	1.7	2.5	2.5	
Tmax (°C)	1.4	1.2	1.1	2.1	1.4	2.1	1.7	1.8	2.8	2.3	
Pr (%)	-2	3	-9	-15	2	-12	-5	-16	-46	-3	2071-2100
Tmin (°C)	2.0	1.7	1.5	2.1	2.2	3.7	3.1	2.9	4.2	4.4	
Tmax (°C)	1.8	1.5	1.6	2.6	1.9	3.5	3.0	3.2	5.0	3.9	

De plus, ont été analysées les anomalies en termes de moyenne pondérée des différents modèles des indicateurs de température extrême (Figure 20) et des précipitations (Figure 21 et 22). En termes de température, à la figure 20, il est clair que l'augmentation de l'indicateur hw est généralement similaire à celle attendue par la moyenne de l'ensemble (figure 6), tandis que l'augmentation de l'indicateur tr est plus contenue. En termes de précipitations, sur la figure 21, les résultats obtenus sont généralement similaires à ceux de la figure 7, dans le cas de l'indicateur r10, rr1 et prcptot, on constate une réduction plus importante à moyen et long terme, mais pour l'indicateur rx1day est évidente une augmentation plus faible pour les deux scénarios. En particulier, à la figure 22, est évidente une plus grande diminution du prcptot en été par rapport à celle attendue à la figure 8.

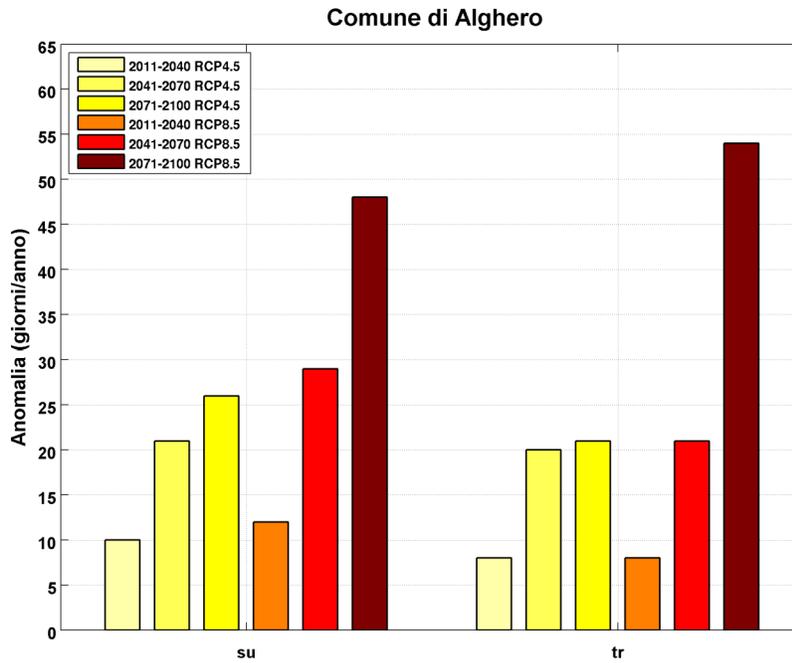


Figure 20: Anomalies des indicateurs de température pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010

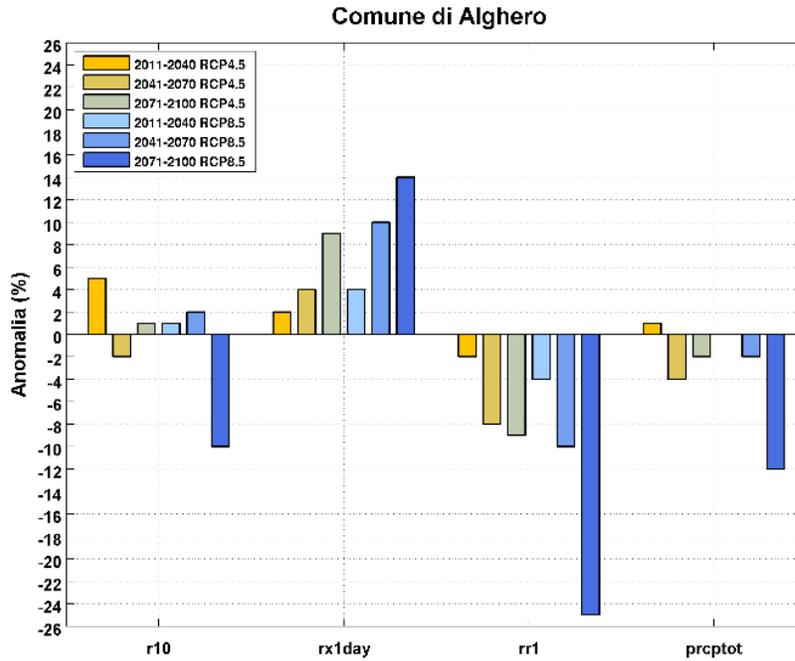
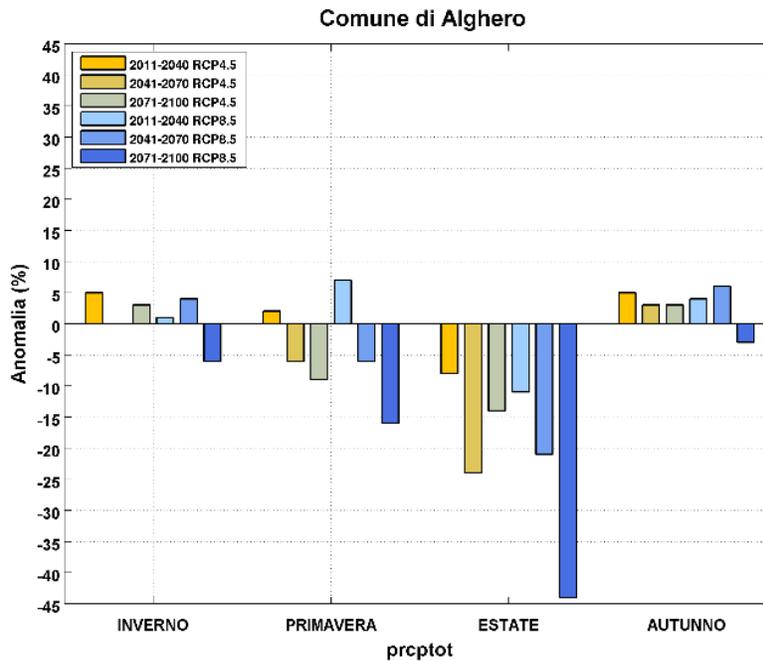


Figure 21: Anomalies des indicateurs de précipitation pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figura 22: Anomalia stagionale dell'indicatore di precipitazione prcptot per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5 e i tre periodi futuri rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Bibliographie

Collins, M., Knight, S., 2007. Ensembles and probabilities: a new era in the prediction of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1471–2962.

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 au sites internet

- A. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/cambiamenti-climatici/indicatori-climatici>
- B. http://www.climatrentino.it/clima_trentino/ct_dati_rapporti/ct_dr_reports_climatici/
- C. https://www.arpae.it/report_ambientali_full.asp?idlivello=1563&tipo_elenco=rep_ambientale&idmateria=4
- D. <https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/annuale.html>
- E. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf
- F. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml,
- G. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/allegato_1_analisi_condizione_climatica_attuale_e_futura.pdf
- H. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf
- I. http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf
- J. <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtm>
- K. <http://www.blueap.eu/site/>
- L. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima>
- M. http://www.scia.isprambiente.it/home_new.asp
- N. <https://www.arcis.it/wp/>
- O. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/csc-report13_englisch_final-mit_umschlag.pdf
- P. http://www.isprambiente.gov.it/files2017/snpa/Delibera15_indicatoriimpatticambiament climatici.pdf
- Q. <https://public.wmo.int/en/bulletin/addressing-climate-information-needs-regional-level-cordex-framework>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



MATTM	Ministero Ambiente Tutela Territorio Mare
NWIOI	North West Italy Optimal Interpolation
PNACC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
RCM	Regional Climate Model
SCIA	Sistema dati Climatici Interesse Ambientale
SNACC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
WMO	World Meteorological Organization