

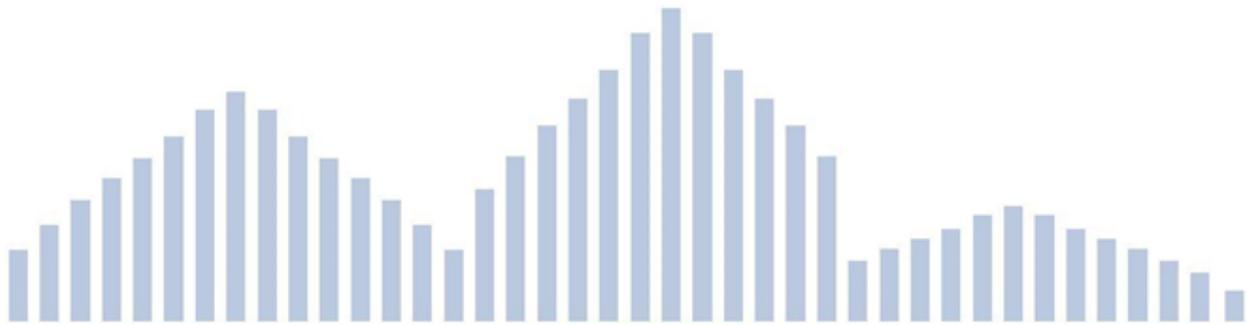


**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **Profil climatique local pour les Communes de Savone et Vado Ligure**





**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Introduction	3
Évolution temporelle de la variabilité climatique observée	5
Scénarii climatiques locaux disponibles	16
Conclusioni	31
Glossaire	33
Bibliographie	36
Liens vers des sites internet	38

Le document a été développé par la Fondation Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), avec le soutien technique d'IRE Liguria SpA.

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



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Introduction

Le présent document a pour objectif de décrire le profil climatique local des communes de Savone et Vado Ligure, sur la base des observations et des projections climatiques actuellement disponibles.

Cette analyse du climat permet de caractériser la variabilité climatique locale observée, ainsi que, lors des phases successives de l'étude, d'évaluer les anomalies climatiques attendues dans l'avenir au niveau local en raison des changements climatiques.

En ce qui concerne la variation du climat à l'échelle mondiale, la communauté scientifique considère « extrêmement probable » que le réchauffement de l'air et des océans, la réduction de l'extension et du volume des glaciers, la hausse du niveau des mers et la diminution de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord ont découlé de l'activité anthropique dominante (IPCC, AR4, 2007). L'étude de cette variation ne fera pas l'objet du présent document qui est au contraire concentré sur l'analyse du climat observé et de ses scénarii de changement sur les villes concernées.

L'étude du climat implique, par définition, l'utilisation de grandes échelles temporelles ; en particulier, l'OMM (OMM, 2007) fixe à 30 ans la durée standard pour effectuer des analyses statistiques pouvant être considérées représentatives du climat. Pour cette raison, les variations du climat futur par rapport au climat actuel (ou de référence) sont obtenues en comparant des périodes de 30 ans.

Dans la section *Évolution temporelle de la variabilité climatique observée*, l'analyse des données observées est présentée. De manière spécifique, cette analyse est réalisée dans la période 2001-2017 à partir des données horaires numérisées de température (minimale et maximale) et de précipitation de la *Station de Savone – Istituto Nautico*<sup>1</sup>, utilisée comme référence pour les *Communes de Savone et Vado Ligure*. Cette approximation a été effectuée sur indication d'ARPA Liguria qui a indiqué cette station d'observation (station de Savone - Istituto Nautico) utilisable pour effectuer une analyse climatique de type local également sur la commune de Vado Ligure. L'analyse des données observées, à la différence de l'analyse des variations du futur climat (basées sur des données simulées), a été évaluée sur une période de référence plus brève, de 17 ans, étant donné que les observations sont disponibles seulement sur cette période (il est également souligné que les données manquent pour certaines périodes de l'intervalle d'observation disponible)<sup>2</sup>. Cette analyse décrit la variabilité temporelle dans la période de référence des valeurs moyennes ainsi que des valeurs extrêmes de précipitation et de température. Les extrêmes sont définies comme les valeurs des variables atmosphériques qui diffèrent de la moyenne climatologique et sont définies par des seuils (par exemple des percentiles, minimales, maximales). Diverses études montrent que le changement climatique

<sup>1</sup> Les données horaires de la station de Savone – Istituto Nautico sont téléchargeables au lien suivant : <http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>

<sup>2</sup> Il est souligné qu'effectuer une analyse climatique sur une période plus brève pourrait entraîner une évaluation erronée du régime climatique, en particulier en ce qui concerne les événements extrêmes.



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



entraîne également une variation de la fréquence et de la gravité des événements extrêmes, leur variation ayant une influence sur la majorité des coûts sociaux et économiques associés aux changements climatiques. Dans tous les cas, pour avoir un cadre complet et détaillé du climat de la région ligure, il est possible de consulter l'Atlas Climatique de la Ligurie rédigé par l'ARPAL-Centre fonctionnel météo-hydrologique de la Protection Civile, disponible au lien suivant <https://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/analisi-climatologiche/atlante-climatico-della-liguria.html>

En plus de la description du climat local observé, en ce qui concerne les valeurs moyennes et les extrêmes, les anomalies climatiques attendues pour les indicateurs sélectionnés sont présentées sur la base de différents scénarii climatiques, pour trois périodes de trente ans futures 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 scénarii différents RCP4.5<sup>3</sup> et RCP8.5<sup>4</sup>, à partir des données simulées des modèles climatiques régionaux actuellement disponibles dans le cadre du programme EURO-CORDEX à la résolution horizontale la plus élevée d'environ 12 km. De plus amples informations sur l'initiative EURO-CORDEX sont disponibles au lien suivant <http://www.euro-cordex.net>.

Les modèles climatiques régionaux permettent d'augmenter la résolution spatiotemporelle des modèles de circulation globale et de formuler des scénarii de changement climatique plus détaillés, bien qu'avec un certain degré d'incertitude. En particulier, l'estimation des variations de précipitation, tant au sens spatial que temporel, est plus incertaine que celle des variations de la température, et les estimations des variations des événements extrêmes (MATTM, SNACC, rapport sur l'état des connaissances, 2014) sont encore plus incertaines.

L'utilisation d'ensembles de projections futures de divers modèles (ensemble à plusieurs modèles), bien que plus onéreuse du point de vue méthodologique et de calcul, permet d'effectuer une estimation de l'incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou de l'indicateur climatique concerné.

Dans ce travail, les analyses de la variabilité climatique future ont été préparées en utilisant une approche à plusieurs modèles, comme cela a déjà été fait dans divers travaux récents dans la littérature (Jacob 2014), (Kotlarski 2014).

---

<sup>3</sup>Le scénario IPCC RCP4.5 (stabilisation moyenne-basse) prévoit que d'ici 2070 les émissions de CO<sub>2</sub> doivent baisser en dessous des niveaux actuels et la concentration atmosphérique se stabiliser avant la fin du siècle à environ le double des niveaux pré-industriels.

<sup>4</sup>Le scénario IPCC RCP 8.5 (émissions élevées) prévoit qu'avant 2100 les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> seront triplées ou quadruplées par rapport aux niveaux pré-industriels.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Évolution temporelle de la variabilité climatique observée

Les communes de Savone et Vado Ligure, comme cela est indiqué dans le Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques (PNACC, 2017), appartiennent, sur la base des données E-OBS (Haylock et al. 2000), à la macrorégion 1 qui identifie principalement les Préalpes et l'Apennin Septentrional. Cette macrorégion est caractérisée par des valeurs intermédiaires en ce qui concerne les précipitations cumulées hivernales et estivales et par des valeurs élevées, par rapport aux autres zones du territoire national, des indicateurs extrêmes de précipitation. En outre, c'est une zone qui présente un grand nombre de jours estivaux (nombre de jours au cours desquels la température maximale a une valeur supérieure à 29,2°C).

Étant représentative d'une résolution d'environ 28 km, la climatologie décrite par le jeu de données E-OBS est en mesure de déterminer au niveau du macroclimat les principaux modèles climatiques sur le territoire national, mais la caractérisation locale du climat nécessite des analyses plus ciblées pour la caractérisation de profils climatiques locaux. Afin d'avoir une meilleure connaissance des aspects plus locaux du climat de Savone et Vado Ligure, l'analyse des conditions climatiques sur la zone concernée a été effectuée en tenant compte des données horaires de température minimale, maximale et de précipitation, enregistrées par la station de Savone – *Istituto Nautico*. La position géographique de la station disponible pour les communes de Savone et de Vado Ligure est présentée dans la Figure 1.



Figure 1: Position géographique de la station météo (source Istituto Nautico) disponible pour les communes de Savone et Vado Ligure.



Les séries de données numérisées utilisées, disponibles sur la période 2001-2017, ont été soumises à un contrôle qualité et d'homogénéité qui peut être synthétisé dans les phases suivantes :

- ✓ **Analyse de complétude des données.** Pour chaque résolution temporelle, la présence d'au moins 75% de données disponibles est contrôlée, étant donné que la présence de données manquantes peut donner lieu à des analyses peu significatives, fortement déformées voire erronées.
- ✓ **Détermination et suppression des breakpoint.** Cette procédure, qui consiste à déterminer et supprimer de la série des données observées les hétérogénéités qui découlent de facteurs externes non climatiques, a été effectuée grâce à deux tests non paramétriques, celui de Pettitt et celui du CUSUM (CUMulative SUM) (ISPRA, 2013).

Ces contrôles sont fondamentaux afin d'exclure les éventuels changements climatiques artificiels qui peuvent être attribués au déplacement de la station de mesure, au remplacement de l'instrumentation, à des changements de l'exposition de l'instrument ou à l'adoption de nouvelles procédures de préparation des données. Les changements climatiques artificiels peuvent être une source d'hétérogénéités qui se manifestent comme une tendance artificielle dans la série (ISPRA, 2013). Le Tableau 1 présente le nombre total d'années avec des données valables (pourcentage de données manquantes inférieur à 25%), pour la station de Savone/Vado Ligure et pour chaque variable considérée 3 ans ont été exclus pour les températures (minimales et maximales) et 1 année pour les précipitations, étant donné qu'un pourcentage de données non valables supérieur à 25% était présent.

**Tableau 1: Nombre total d'années avec des données valables (pourcentage de données manquantes inférieur à 25%), pour chaque variable considérée. En outre, les années avec des données non valables sont indiquées (pourcentage de données manquantes supérieur à 25%).**

	Station de Savone - Istituto Nautico	
	Température	Température
<b>Nombre maximal d'années</b>	17	17
<b>Nombre total d'années disponibles</b>	14	16
<b>Complétude</b>	82%	94%
<b>Années avec des données non valables</b>	2001, 2002, 2003	2001

En aval des contrôles qualité et d'homogénéité des données sur site, pour décrire la variabilité climatique observée, diverses analyses statistiques et climatiques ont été effectuées. En particulier, les principaux résultats sont présentés :



- moyenne mensuelle, sur la période de référence, de température et de précipitation (cycle saisonnier) avec la dispersion par rapport à 5° et à 95° percentile de la distribution mensuelle ;
- valeurs moyennes (annuelles et saisonnières) de température et de précipitation cumulée ;
- 95° et 99° percentile de la précipitation journalière et de la température maximale journalière et 1° et 5° percentile de la température minimale journalière;
- séries temporelles annuelles de température et de précipitation avec tendance et évaluation du caractère significatif statistique avec le Test de Mann-Kendall (Hirsch, 1982 ; Kendall, 1975 ; Mann, 1945), nécessaire pour la détermination d'une tendance de croissance/décroissance significative ;
- séries temporelles annuelles d'indicateurs de température et de précipitation avec tendance et évaluation du caractère significatif statistique avec le Test de Mann-Kendall (Hirsch, 1982 ; Kendall, 1975 ; Mann, 1945), nécessaire pour la détermination d'une tendance de croissance/décroissance significative.

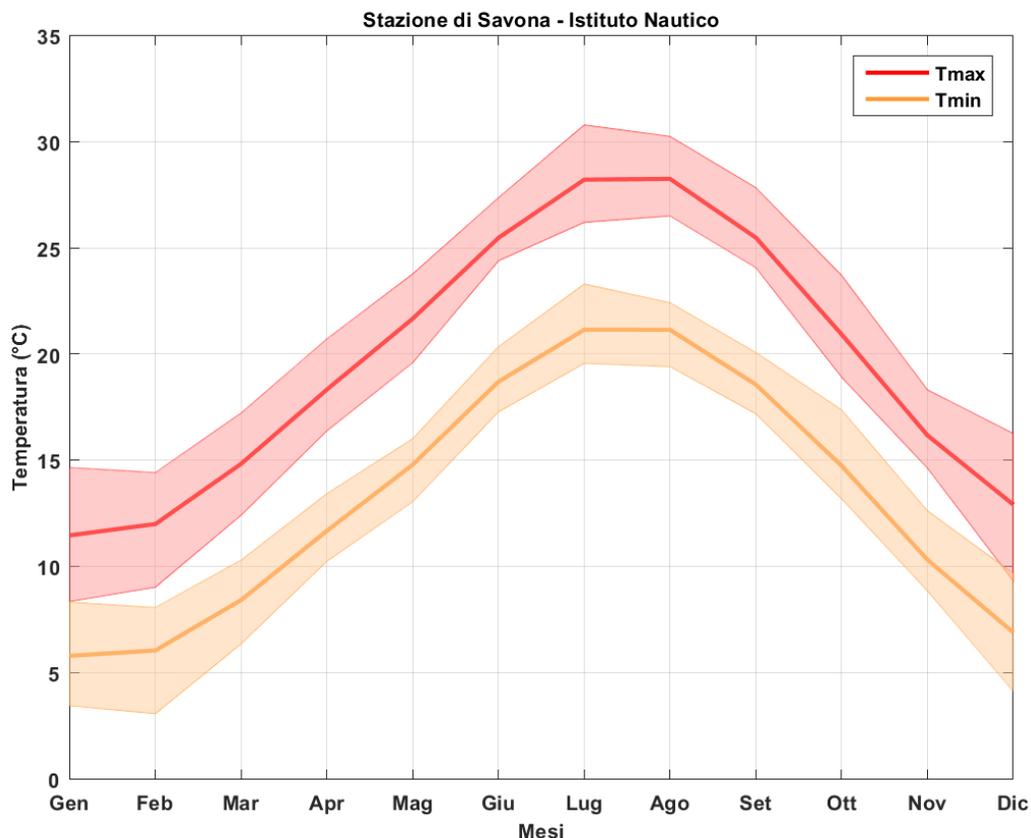
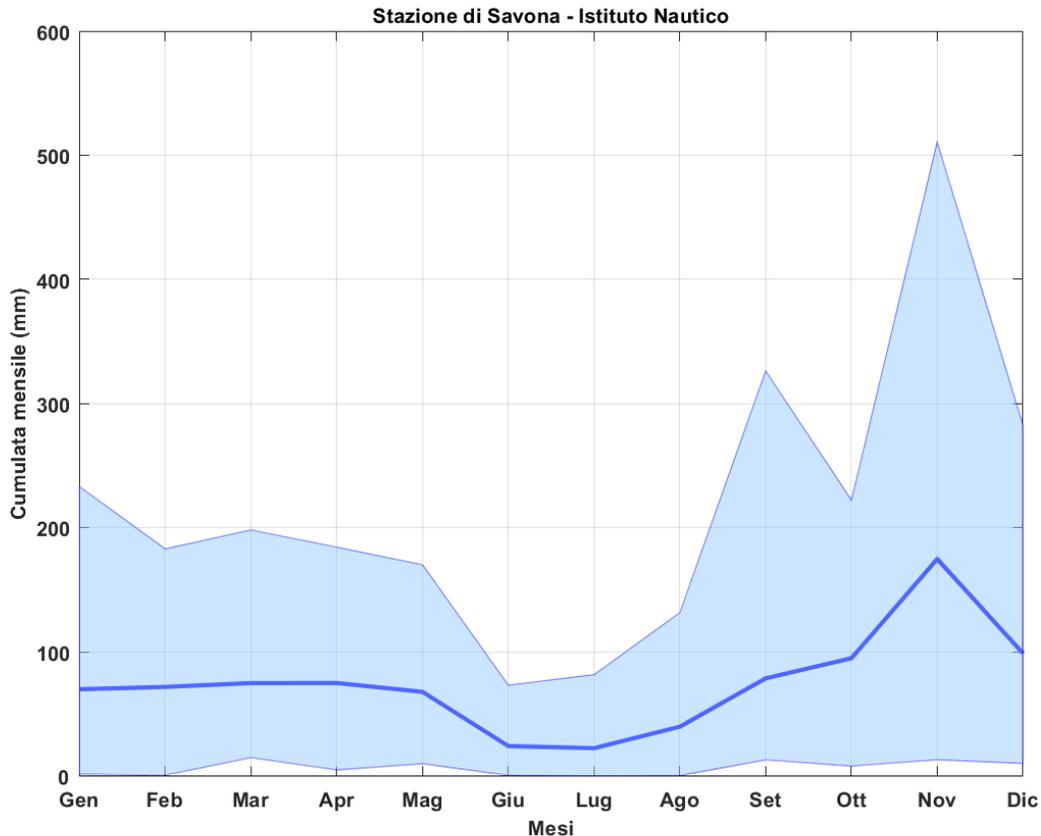


Figure 2: Cycle saisonnier de température minimale et maximale. La zone ombrée indique la dispersion par rapport à 5° et à 95° percentile de la distribution mensuelle sur la période de référence.



**Figure 3: Cycle saisonnier de précipitation cumulée mensuelle. La zone ombrée indique la dispersion par rapport à 5° et à 95° percentile de la distribution mensuelle sur la période de référence.**

La Figure 2 présente les cycles saisonniers (évolutions moyennes mensuelles) de température minimale (Tmin) et maximale (Tmax), alors que la Figure 3 illustre les cycles de précipitation (Pr). Pour chaque variable la dispersion des données a également été représentée par rapport à 5° et à 95° percentile de la distribution mensuelle. Le graphique de la Figure 2 souligne que les températures prennent des valeurs plus basses au cours des mois de décembre et de janvier (avec une Tmin autour de 6°C et Tmax autour de 12°C) ; en même temps, les valeurs maximales sont enregistrées entre juillet et août, avec la Tmax qui atteint près de 28°C et la Tmin 21°C. Le printemps et l'automne montrent des valeurs intermédiaires et comparables. En outre, les mois de décembre, janvier et février montrent une dispersion accrue en termes de températures minimales et maximales (comme illustré sur la Figure 2).

En ce qui concerne les précipitations (Figure 3), les valeurs sont calculées en cumulant les données horaires sur une base mensuelle. Pour les précipitations, on observe un pic en novembre d'environ 170 millimètres/mois. Les mois d'automne (septembre, octobre et novembre)



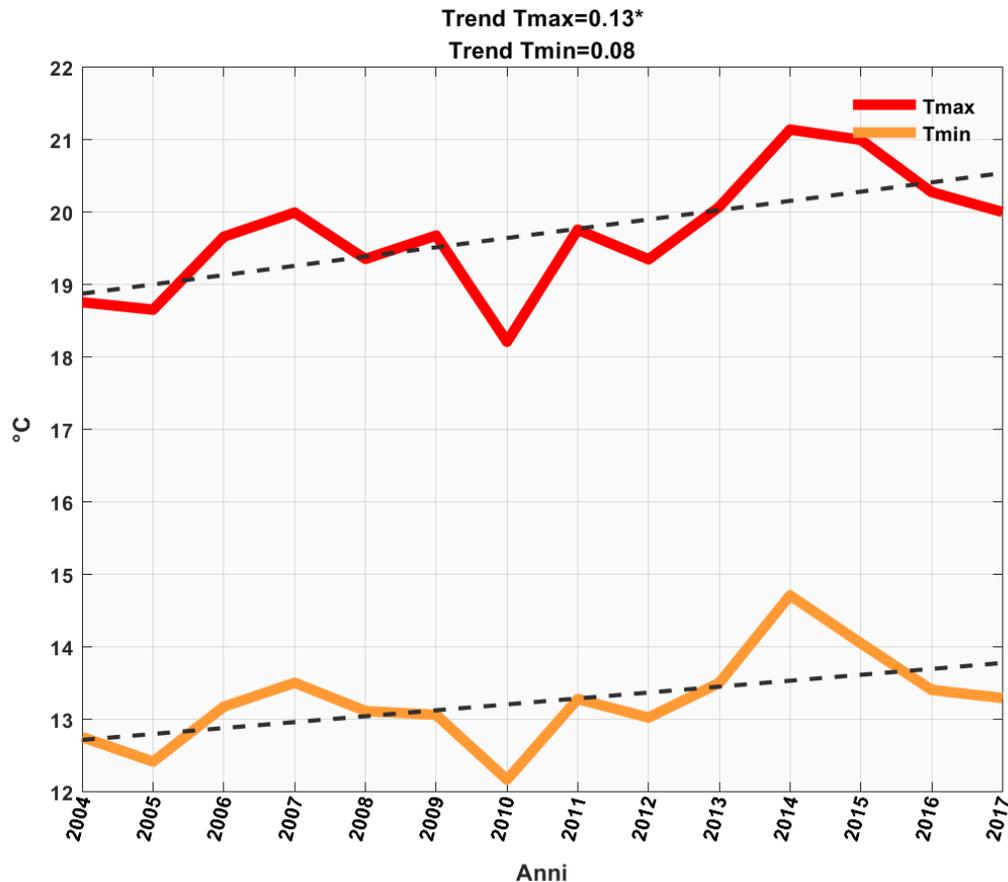
représentent les mois caractérisés par la dispersion supérieure ; en particulier, pour le mois de novembre le 95° percentile est d'environ 500 millimètres par rapport à la valeur moyenne de 170 millimètres alors que pour le mois de septembre le 95° percentile est d'environ 310 millimètres par rapport à la valeur moyenne de 80 millimètres. Les mois du printemps (mars, avril, mai) sont caractérisés par une valeur moyenne d'environ 70 millimètres/mois avec un 95° percentile qui atteint environ 200 millimètres/mois. Au cours des mois de juin et juillet on enregistre les valeurs mensuelles les plus basses d'environ 20 millimètres/mois avec le 95° percentile d'environ 90 millimètres.

En outre, la Figure 4 présente les séries temporelles annuelles de température maximale et minimale. Les deux séries de température montrent une tendance à l'augmentation, mais le test de Mann Kendall a montré une tendance significative seulement pour la température maximale (avec un niveau de caractère significatif de 95%) sur la période d'analyse. La **Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.** illustre, pour la température minimale et maximale, l'évolution de l'anomalie par rapport à la valeur moyenne de la période d'analyse.

Enfin, le Tableau 2 présente également les valeurs moyennes de température (minimale et maximale) et de précipitation cumulée sur une échelle annuelle et saisonnière. En termes de température, on observe une température maximale moyenne d'environ 27°C pendant l'été et une température minimale moyenne d'environ 6°C pendant l'hiver. Au contraire, en termes de précipitation, l'automne s'avère être la saison la plus pluvieuse (avec 348 millimètres) alors que l'été est caractérisé par des précipitations plus faibles, par rapport aux autres saisons, d'environ 86 millimètres.

**Tableau 2: Valeurs moyennes (saisonnières et annuelles) de précipitation cumulée (Pr), de température maximale (Tmax) et de température minimale (Tmin)**

	Station de Savone - Istituto Nautico		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	PR (mm)
Hiver (DJF)	6.4	12.2	238
Printemps (MAM)	11.7	18.3	217
Été (JJA)	20.4	27.3	86
Automne (SON)	14.5	20.9	348
Annuelle	13.3	19.7	892



**Figure 4: Série temporelle annuelle de la température maximale (Tmax) et de la température minimale (Tmin) pour la Station de Savone – Istituto Nautico. En noir, la ligne de tendance (les tendances qui sont statistiquement significatives sont repérées par une astérisque).**

Bien que les valeurs moyennes soient fondamentales pour la définition des caractéristiques climatiques moyennes, les valeurs extrêmes sont généralement en mesure de produire les criticités majeures sur le territoire avec des magnitudes et des caractéristiques différentes, surtout selon le contexte géomorphologique et construit actuel. Pour cette raison, le Tableau 3 présente, sur une base annuelle, les valeurs correspondant aux 95° et 99° percentiles des distributions de précipitation (Pr) et température maximale (Tmax) et 1° et 5° percentiles de la distribution de la température minimale (Tmin). Les percentiles restituent l'intensité des valeurs les plus extrêmes, dans ce cas observées, avec des informations indirectes très utiles pour les études d'impact et pour le dimensionnement des infrastructures.

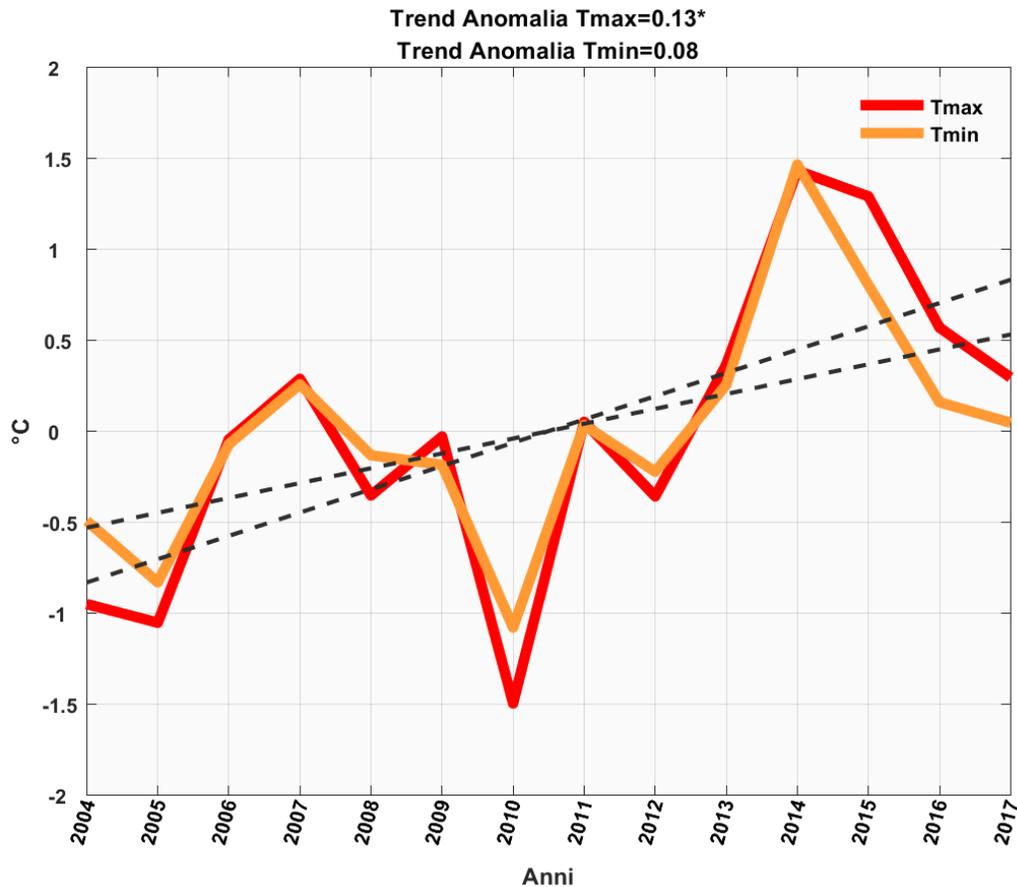


Figure 5: Évolution temporelle de l'anomalie de température maximale (Tmax) et de température minimale (Tmin) par rapport à la valeur moyenne sur la période d'analyse pour la Station de Savone – Istituto Nautico. En noir, la ligne de tendance (les tendances qui sont statistiquement significatives sont repérées par une astérisque).

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

	Station de Savone - Istituto Nautico		
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Pr (mm)
1er percentile	1.1	/	/
5ème percentile	3.5	/	/
95ème percentile	/	29.9	52
99ème percentile	/	32.7	85



À des fins similaires, divers indicateurs synthétiques (moyennes et/ou extrêmes) sont communément utilisés dans la littérature pour la connaissance des caractéristiques du climat local et pour avoir la preuve de la présence éventuelle de changements climatiques déjà en cours. Les événements extrêmes sont définis comme des événements qui diffèrent, dans leurs caractéristiques, substantiellement de la moyenne climatologique de la zone. Ils peuvent être analysés à travers un jeu d'indicateurs définis dans la littérature, par exemple ceux mis à disposition par l'ETCCDI<sup>5</sup>. Ces indicateurs décrivent principalement l'intensité et la fréquence des événements extrêmes en termes de précipitation et de température, et sont certainement très utiles pour les études sectorielles successives destinées à évaluer les principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquels les stratégies d'adaptation sont fondées. Le Tableau 4 présente certains des indicateurs ETCCDI [J], sélectionnés pour décrire la variabilité climatique de la zone géographique concernée.

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

<b>Acronyme</b>	<b>Indicateur</b>
<b>HW/HD</b>	(hot wave ou warm days) nombre de jours à l'année avec une température maximale journalière supérieure à 35°C
<b>FD</b>	(frost days) nombre de jours de gel définis comme le nombre de jours à l'année avec une température minimale journalière inférieure à 0°C
<b>SU</b>	(summer days) nombre de jours à l'année avec une température maximale journalière supérieure à 25°C
<b>TR</b>	(tropical nights) nombre de jours à l'année avec une température minimale supérieure à 20°C
<b>R10</b>	nombre de jours à l'année avec une précipitation accrue
<b>PRCPTOT</b>	cumul (somme) des précipitations annuelles pour les jours avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm
<b>SDII</b>	précipitation moyenne journalière lors des jours de précipitation supérieure ou égale à 1 mm
<b>RX5DAY</b>	maximum de précipitation sur 5 jours consécutifs sur une échelle annuelle
<b>CDD</b>	nombre maximal de jours consécutifs à l'année avec précipitation inférieure à 1 mm
<b>CWD</b>	nombre maximal de jours consécutifs à l'année avec précipitation supérieure ou égale à 1 mm
<b>RR1</b>	nombre de jours à l'année avec pluie supérieure ou égale à 1 millimètre

Les valeurs moyennes des indicateurs sélectionnés pour la période observée 2001-2017 sont présentées dans le Tableau 5. La station de Savone – Istituto Nautico est caractérisée par un nombre moyen de jours à l'année avec une température maximale supérieure à 25°C (SU) égal à 96 alors que le nombre de jours à l'année avec une température minimale journalière supérieure à 20°C (TR) est égal à 61.

<sup>5</sup>Ces indicateurs estiment les caractéristiques des événements identifiés comme « *moderately rare weather events* », et incluent la fréquence, l'intensité et la persistance d'une condition atmosphérique ; ils sont amplement utilisés pour évaluer la variation de ce type d'événements dans le contexte du changement climatique.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En termes de précipitation, la station de Savone – Istituto Nautico est caractérisée par environ 880 millimètres annuels de pluie (PRCPTOT), par un maximum de précipitations sur 5 jours consécutifs (RX5DAY) relativement élevé (environ 160 mm).

En comparant les résultats obtenus à partir des données enregistrées par la station de Savone - Istituto Nautico, aux caractéristiques climatiques de la macrorégion 1 présentée dans le document PNACC, pour la station de Savone - Istituto Nautico on obtient des valeurs moyennes de température plus élevées (la température moyenne annuelle déterminée dans la macrorégion 1 est de 13°C alors qu'à Savone - Istituto Nautico on observe une température minimale de 13,3°C et une température maximale de 19,7°C). En termes de précipitation, on enregistre des valeurs comparables avec la macrorégion 1 (PNACC, 2017) en termes de nombre maximal moyen de jours consécutifs avec une précipitation inférieure à 1 millimètre (CDD). En effet, pour la macrorégion 1, on observe en moyenne 33 jours consécutifs à l'année avec une absence de pluie (avec un écart-type de +/-6 jours). En outre, pour la macrorégion 1, on enregistre des valeurs moyennes de précipitations hivernales (PR DJF) d'environ 187 mm (avec écart-type de +/-61 mm), des valeurs moyennes de précipitations estivales (PR JJA) d'environ 168 mm (avec écart-type de +/- 47 mm). Donc, la station de Savone - Istituto Nautico montre des valeurs plus élevées de précipitations hivernales cumulées et plus basses de précipitations estivales. En outre, on observe que les valeurs moyennes et extrêmes obtenues à partir des données de la station de Savone - Istituto Nautico sont comparables à celles présentées dans l'Atlas Climatique de la Ligurie rédigé par l'ARPAL (<https://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/analisi-climatologica/atlante-climatico-della-liguria.html>).

**Tableau 5: Valeurs moyennes des indicateurs sélectionnés pour la période observée 2001-2017.**

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

La Figure 6 présente la série temporelle annuelle de l'indicateur SU (nombre de jours à l'année avec une température maximale journalière supérieure à 25°C) alors que la Figure 7 présente celle de l'indicateur TR (nombre de jours à l'année avec une température minimale supérieure à 20°C), les seuls indicateurs pour lesquels le test de Mann Kendall a montré une tendance significative (niveau de caractère significatif de 95%) sur la période de référence 2001-2017. Pour



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



les deux indicateurs, on observe une tendance de croissance (tendance de SU=2,23 et tendance de TR=2,09).

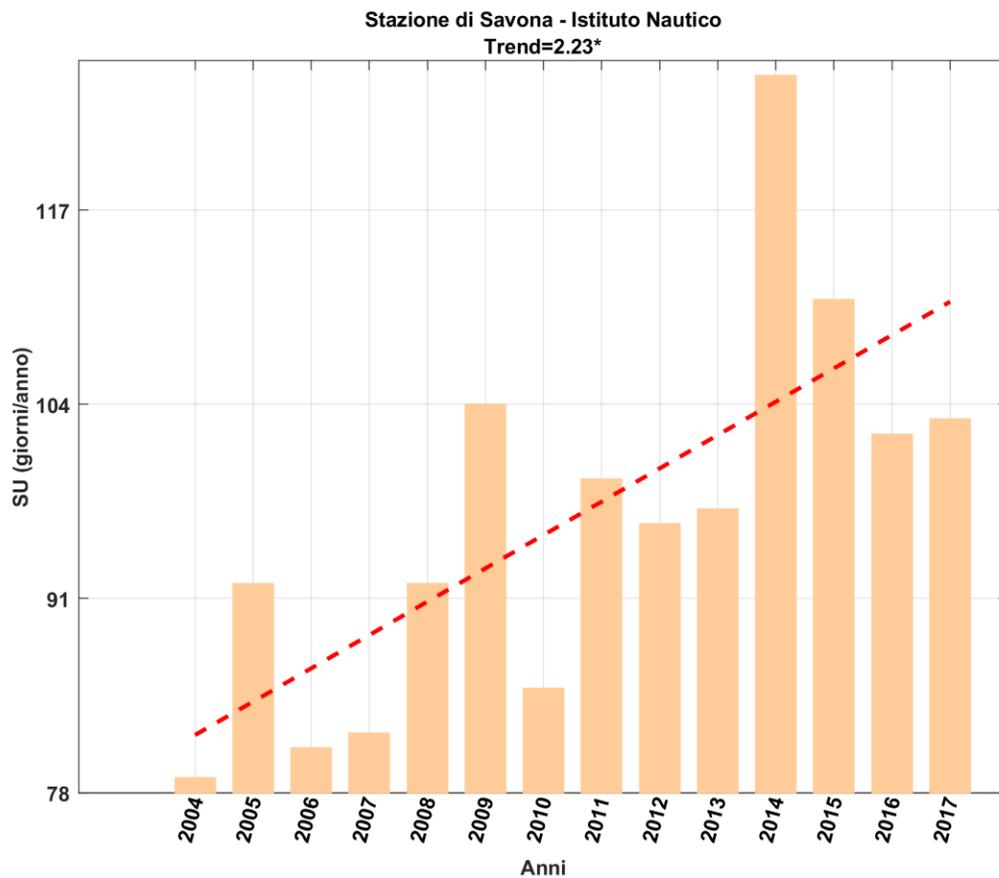


Figure 6: Série temporelle annuelle de l'indicateur « su » pour la station de Savone – Istituto Nautico (ARPAS). La ligne de tendance est représentée en rouge.

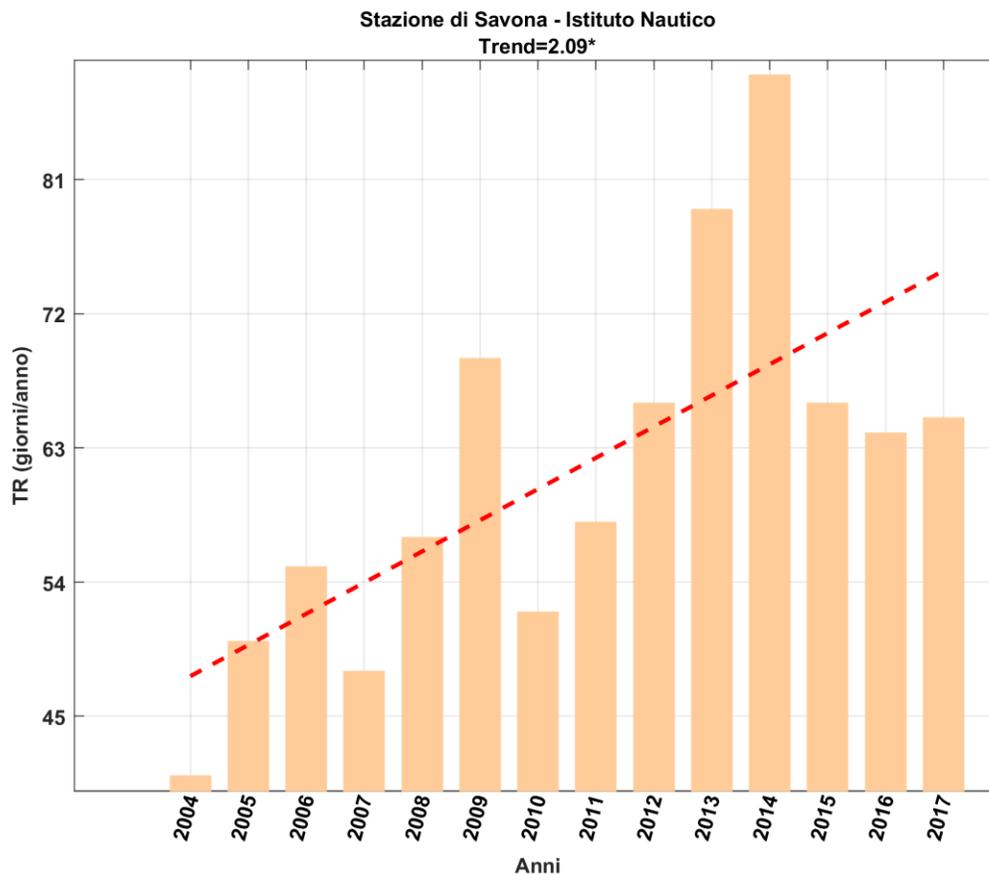


Figure 7: Série temporelle annuelle de l'indicateur « tr » pour la station de Savone-Istituto Nautico (ARPAS). La ligne de tendance est représentée en rouge.



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Scénarii climatiques locaux disponibles

Pour évaluer le climat sur une échelle régionale, deux techniques de « régionalisation » existent principalement : statistique et dynamique. Les deux techniques sont différentes en termes d'approche, de charges de calcul, de conditions préalables et de limites et, donc, sont caractérisées par divers avantages et inconvénients.

Les techniques de type statistique sont fondées sur l'utilisation de relations statistiques entre les facteurs prédictifs synoptiques (à grande échelle) et les locaux, ces derniers étant disponibles grâce à de longues séries temporelles d'observations des variables concernées utiles pour obtenir et valider les relations statistiques, et offrent l'avantage de permettre d'arriver au point et/ou à la station.

Les techniques de *downscaling* dynamique utilisent au contraire des modèles numériques sur une zone limitée. Étant basés sur des lois physiques, ils parviennent généralement à fournir une bonne réponse à l'échelle locale au réchauffement global et à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre prévus pour le futur mais ils ne sont parfois pas en mesure, en particulier en raison de la résolution des paramètres adoptés, d'obtenir des caractéristiques détaillées.

En outre, diverses études de la littérature montrent que la résolution spatiale de ces modèles, actuellement d'environ 10 km, et la capacité d'avoir une bonne prédictibilité à une échelle journalière, indique qu'ils sont les plus adaptés à une utilisation en entrée des modèles d'impact pour évaluer quantitativement comment le changement climatique affectera leur variation (en fréquence et en magnitude).

Dans ce travail, les analyses de projections du changement climatique à une échelle locale sont réalisées en utilisant les résultats obtenus sur l'Italie avec la technique du « *downscaling* dynamique » (régionalisation dynamique). De manière spécifique, les données simulées par les divers modèles climatiques régionaux disponibles dans le programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) ont été utilisées.

Ces simulations permettent, selon le scénario IPCC retenu en ce qui concerne l'évolution future prévue pour la concentration de gaz affectant le climat jusqu'en 2100 (Van Vuuren et al., 2011), d'évaluer l'évolution attendue des paramètres atmosphériques concernés, notamment la température et les précipitations. Les projections climatiques futures ont été obtenues en considérant deux scénarii IPCC différents : RCP4.5 et RCP8.5 afin d'évaluer la valeur moyenne (ensemble mean) des projections climatiques par rapport aux deux scénarii 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 que plus onéreuse du point de vue méthodologique et de calcul, permet d'effectuer une estimation de l'incertitude à associer au scénario de variation de la variable ou de l'indicateur climatique concerné. Nous vous renvoyons à la littérature de référence pour plus de détails concernant cette problématique.

Les variations attendues des valeurs moyennes et extrêmes de température et de précipitation pour la ville concernée, présentées ci-dessous, ont été calculées à partir de la moyenne spatiale



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



d'un nombre limité de points de grille du modèle qui délimite la commune de Vado Ligure. De manière spécifique, pour caractériser les anomalies climatiques attendues, une boîte constituée de 9 points de grille a été retenue pour les modèles de simulation, centrée sur le point d'observation disponible (dans ce cas la station de Savone – Istituto Nautico).

Le présent paragraphe présente les anomalies des variables climatiques et des indicateurs sélectionnés sur les trois périodes de trente ans à venir concernées par rapport à la période de référence 1981-2010. Les périodes de trente ans futures sélectionnées, très utilisées dans la littérature, sont les suivantes :

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

Les anomalies, définies comme la différence entre les valeurs moyennes des indicateurs dans les périodes futures et dans celle de référence 1981-2010, sont exprimées en valeur absolue pour la température et en pourcentage pour les précipitations. Les anomalies climatiques sont fondées sur la différence entre deux périodes, une futur et une de référence, toutes deux d'une durée de 30 ans. Cette longueur est jugée adéquate pour la caractérisation des valeurs moyennes ainsi que des extrêmes des variables atmosphériques concernées (IPCC 2013a).

La présente section présente les résultats obtenus en suivant une approche à plusieurs modèles et plusieurs scénarii, comme présenté ci-dessous :

- moyenne (obtenue à partir des divers modèles disponibles) des anomalies saisonnières et annuelles des variables concernées pour les diverses périodes futures et pour les divers scénarii IPCC sélectionnés ;
- moyenne (obtenue à partir des divers modèles disponibles) des anomalies annuelles des indicateurs sélectionnés pour les diverses périodes futures et pour les divers scénarii IPCC sélectionnés ;
- Dispersion autour de la valeur moyenne des indicateurs sélectionnés (approche à plusieurs modèles). L'amplitude de la dispersion a été obtenue en utilisant l'écart-type des variables (ou des indicateurs climatiques).

À titre de première analyse, le Tableau 6 présente les valeurs des anomalies (en termes de moyenne des anomalies des divers modèles) annuelles et saisonnières de température et de précipitation pour les trois périodes concernées et les deux scénarii RCP4.5 et RCP8.5, pour la boîte qui comprend la commune considérée. Conformément aux deux scénarii, il découle de ce Tableau une diminution accrue des précipitations printanières et estivales à moyen terme (2041-2070) et à long terme (2071-2100) si l'on considère le scénario RCP8.5 dans la période 2071-2100. En termes de température, une augmentation générale est attendue avec une intensité croissante sur le long terme et accrue si l'on considère le scénario RCP8.5. En considérant les deux scénarii, l'augmentation accrue est attendue en été pour les 3 périodes analysées ; en particulier avec le scénario RCP8.5, dans la période à long terme, on obtient en moyenne également une augmentation des valeurs de température supérieure à 4°C en été.

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



**Tableau 6 : Anomalies (en termes de moyenne des anomalies des divers modèles) annuelles et saisonnières de température (moyenne, minimale et maximale, en °C) et précipitations (%) pour les deux scénarii et les trois périodes concernées, pour la boîte centrée sur la station d'observation de Savone - Istituto Nautico**

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

En outre, l'ensemble mean des anomalies (Figure 8-9) des indicateurs extrêmes de température et de précipitation a été analysé.

En termes de température, la Figure 8 montre clairement que dans l'avenir une augmentation des températures est attendue, plus prononcée dans la période à long terme et en considérant le scénario RCP8.5 (plus pessimiste) ; en particulier, sur la Figure 8, une forte augmentation du nombre de jours à l'année avec des températures minimales supérieures à 20°C (TR) et avec des températures maximales supérieures à 25°C (SU) est évidente. L'augmentation du nombre de jours à l'année avec des températures maximales supérieures à 35°C (HW) est plus légère.



En outre, les communes de Savone et Vado Ligure sont concernées par une réduction du nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0°C (FD).

En termes de précipitation, la Figure 9 montre qu'une augmentation de l'intensité de la précipitation (SDII) est attendue, comme des cumuls maximaux de précipitation sur 5 jours (RX5DAY) et du nombre maximal de jours consécutifs à l'année avec des précipitations inférieures à 1 millimètre (CDD), plus prononcée selon le scénario RCP8.5 et en considérant la période 2071-2100. Au contraire, une réduction du nombre de jours de pluie (RR1) et du nombre maximal de jours de pluie consécutifs à l'année (CWD) est généralement attendue. En outre, à long terme, selon le scénario RCP8.5, une diminution du nombre de jours avec des précipitations accrues égales à 10 mm (R10) et des précipitations annuelles lors des jours de pluie (PRCTOT) est attendue.

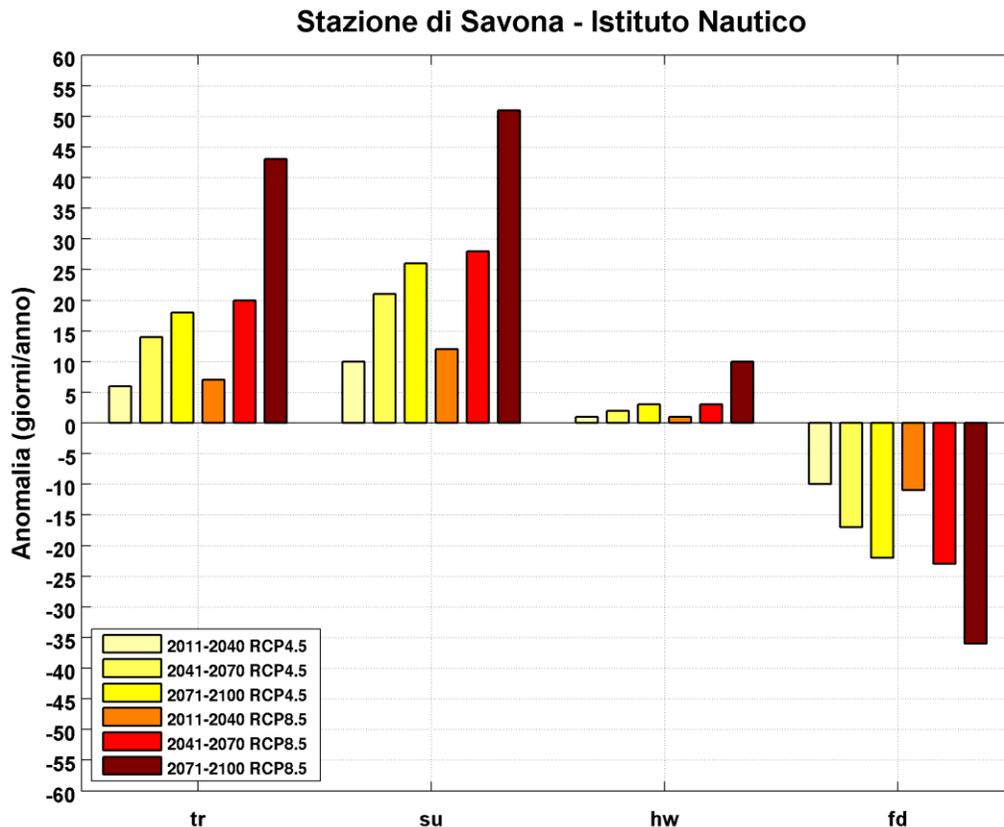


Figure 8: Anomalies des indicateurs de température pour les deux scénarii RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010



### Stazione di Savona - Istituto Nautico

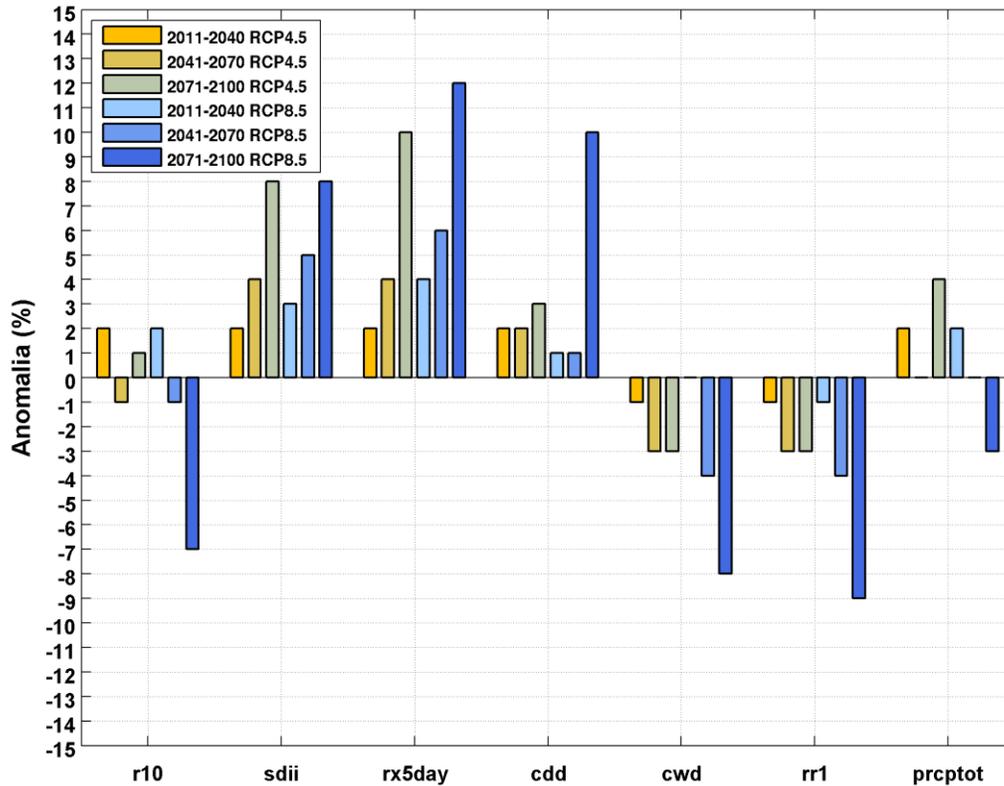


Figure 9: Anomalies des indicateurs de précipitation pour les deux scénarii RCP4.5 et RCP8.5 et les trois périodes futures par rapport à la période de référence 1981-2010.

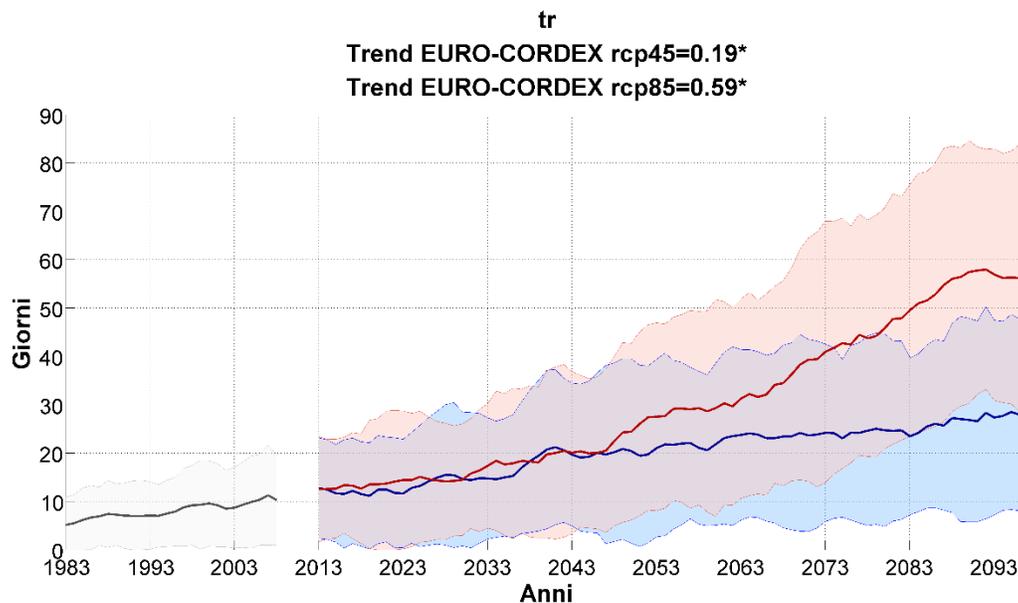
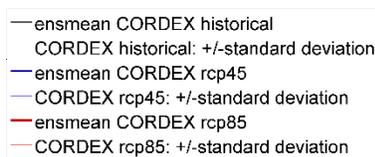
Ci-dessous, le test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) a été utilisé avec un niveau de confiance de 95% pour évaluer le caractère significatif statistique de la tendance de croissance/décroissance au niveau communal des indicateurs susmentionnés calculés à partir des modèles EURO-CORDEX.

Les Figures 10 à 19 montrent la série temporelle des valeurs annuelles des indicateurs extrêmes de température (Figures 10 à 13) et de précipitation (Figures 14 à 19) et les valeurs de la tendance de l'*ensemble mean* des modèles EURO-CORDEX pour les deux scénarii RCP4.5 et RCP8.5 : les tendances qui sont statistiquement significatives sont repérées par une astérisque. Les zones ombrées, présentes sur ces Figures, représentent la *plage* d'incertitude obtenue en additionnant et en soustrayant à l'*ensemble mean* l'écart-type de la distribution des données simulées par les modèles EURO-CORDEX. En outre, à chaque Figure est associé un Tableau contenant le nombre moyen de modèles qui rentrent dans la *plage* d'incertitude.

En termes de température, une tendance de croissance statistiquement significative ressort pour les indicateurs TR (Figure 10), SU (Figure 11), HW (Figure 12) et FD (Figure 13) selon les deux



scénarii. En particulier, il découle de la Figure 10 et de la Figure 13 respectivement une augmentation du nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C (TR) et du nombre de jours avec une température maximale supérieure à 25°C (SU), plus évidente selon le scénario RCP8.5. En général, selon les deux scénarii, sur la Figure 10 les zones ombrées montrent une dispersion légèrement plus étendue sur la période à moyen et long terme, alors que, sur la Figure 11, la plage d'incertitude montre une variabilité contenue. En moyenne dans la *plage* d'incertitude on compte 12 modèles sur 18 sur la Figure 10 et 11 modèles sur 18 sur la Figure 11.

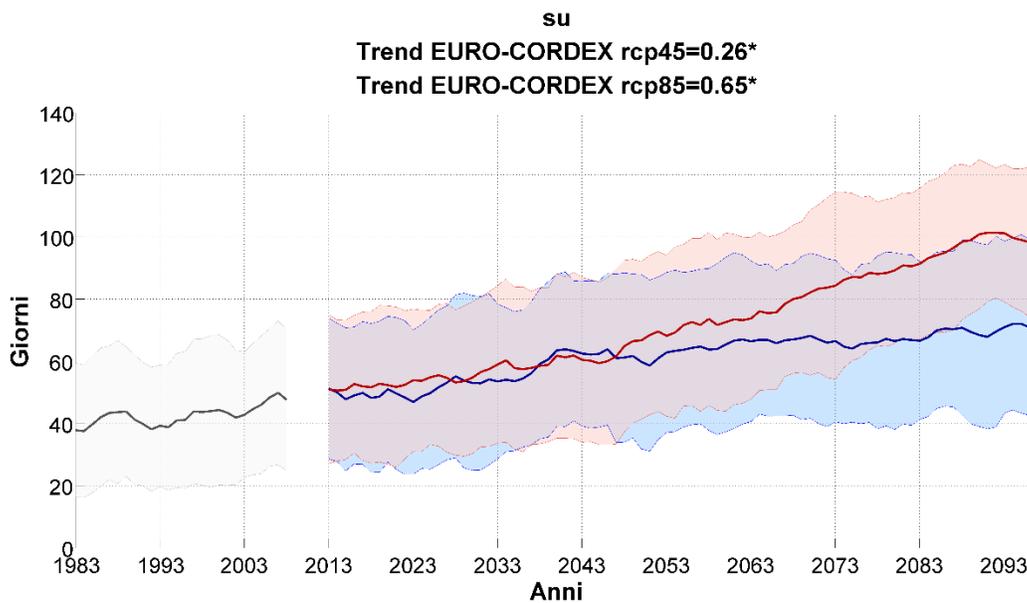


**Figure 10: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur tr, en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**



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



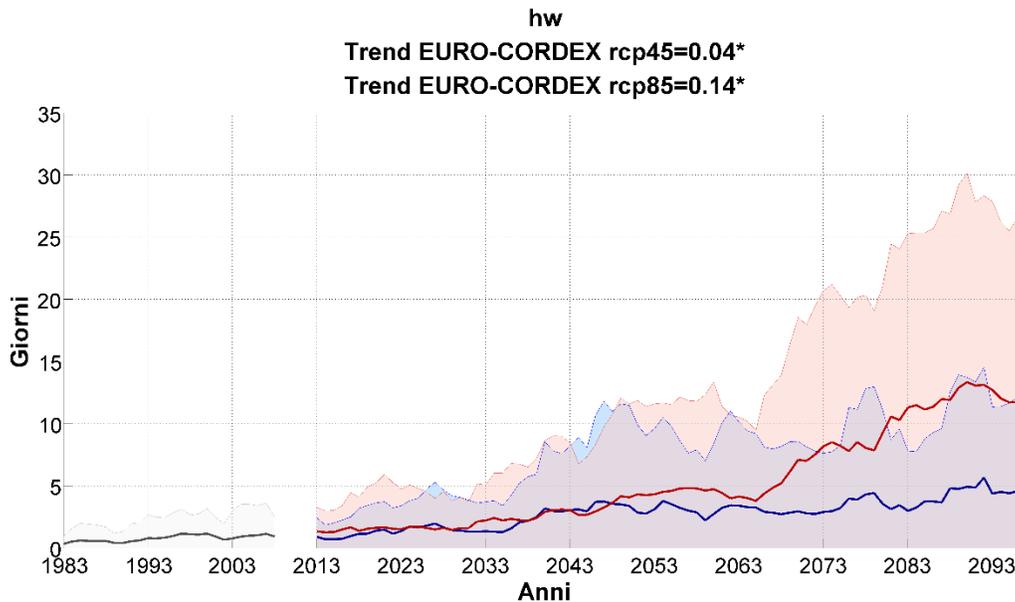
**Figure 11: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « su », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



Sur la Figure 12, conformément au scénario RCP8.5, on note une augmentation de l'indicateur HW, alors que l'augmentation est plus faible selon le scénario RCP4.5. Les zones ombrées montrent une dispersion légèrement plus étendue sur la période à long terme qui est plus évidente pour le scénario RCP8.5. En moyenne, 11 modèles sur 18 rentrent dans la plage d'incertitude.

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

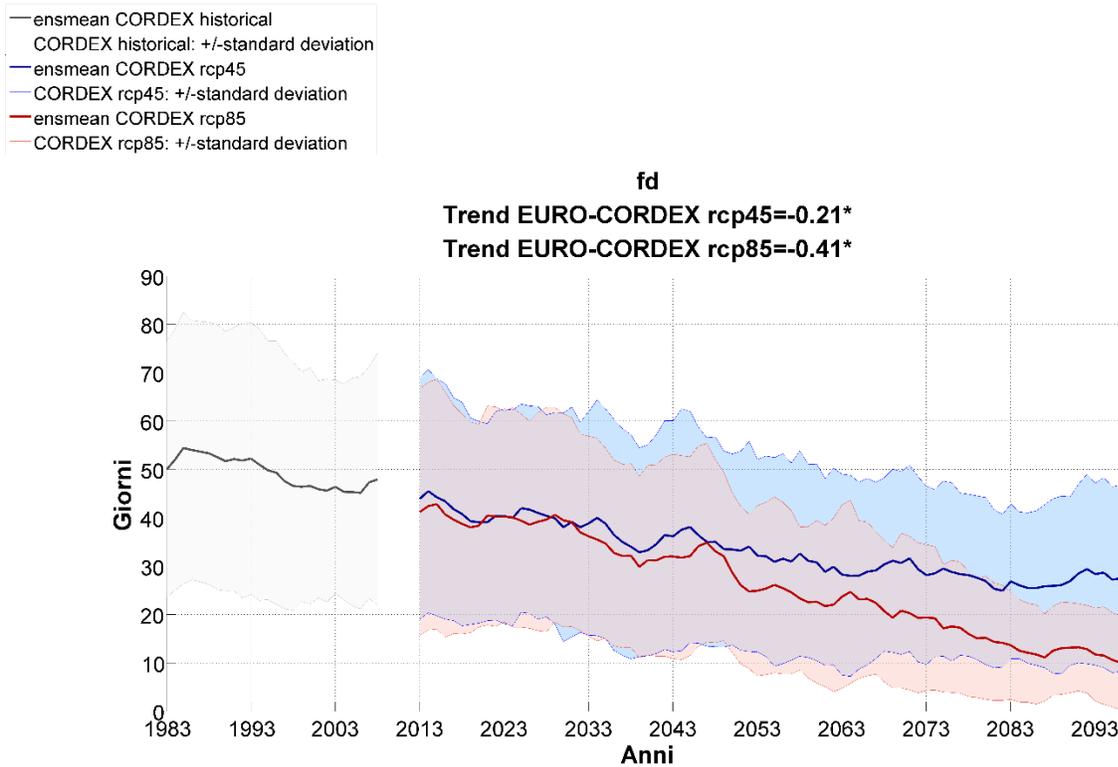


**Figure 12: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « hw », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



Sur la Figure 13, conformément aux deux scénarii, on note une diminution de l'indicateur FD, plus significative pour le scénario RCP8.5. En outre, on observe que la dispersion diminue sur la période à long terme, surtout pour le scénario RCP8.5. En moyenne la majorité des modèles rentrent dans la *plage* d'incertitude.



**Figure 13: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « fd », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii 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 plage obtenue en additionnant et soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



# Interreg



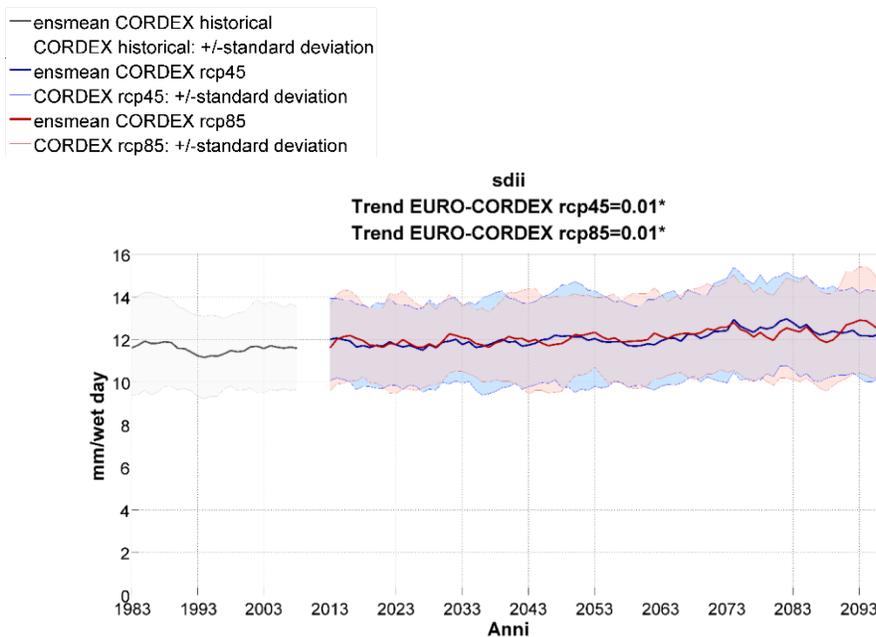
UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En termes de précipitation, on note une tendance de croissance statistiquement significative pour les indicateurs SDII (Figure 14) et RX5DAY (Figure 15) selon les deux scénarii, alors que, pour l'indicateur cdd (Figure 17) seulement selon le scénario RCP8.5. Au contraire, le scénario RCP8.5 montre une tendance de décroissance statistiquement significative pour l'indicateur CWD (Figure 16), RR1 (Figure 18) et PRCTOT (Figure 19). En particulier, sur la Figure 14 et sur la Figure 15, on note respectivement une faible augmentation de l'intensité de la pluie et des maximaux de précipitation sur 5 jours, plus évidente selon le scénario RCP8.5. En général, dans les deux cas, la plage *d'incertitude* montre une variabilité contenue selon les deux scénarii, dans laquelle 16 modèles sur 18 rentrent en moyenne.

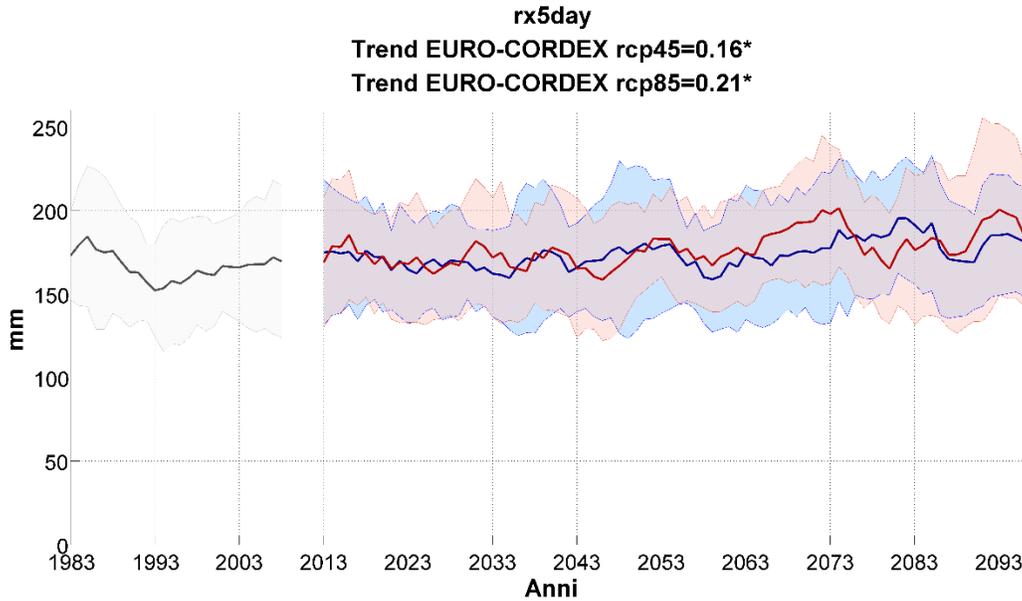


**Figure 14: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « sdii », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

	HISTORIQUE	RCP4.5	RCP8.5
Nombre moyen de modèles dans la bande 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



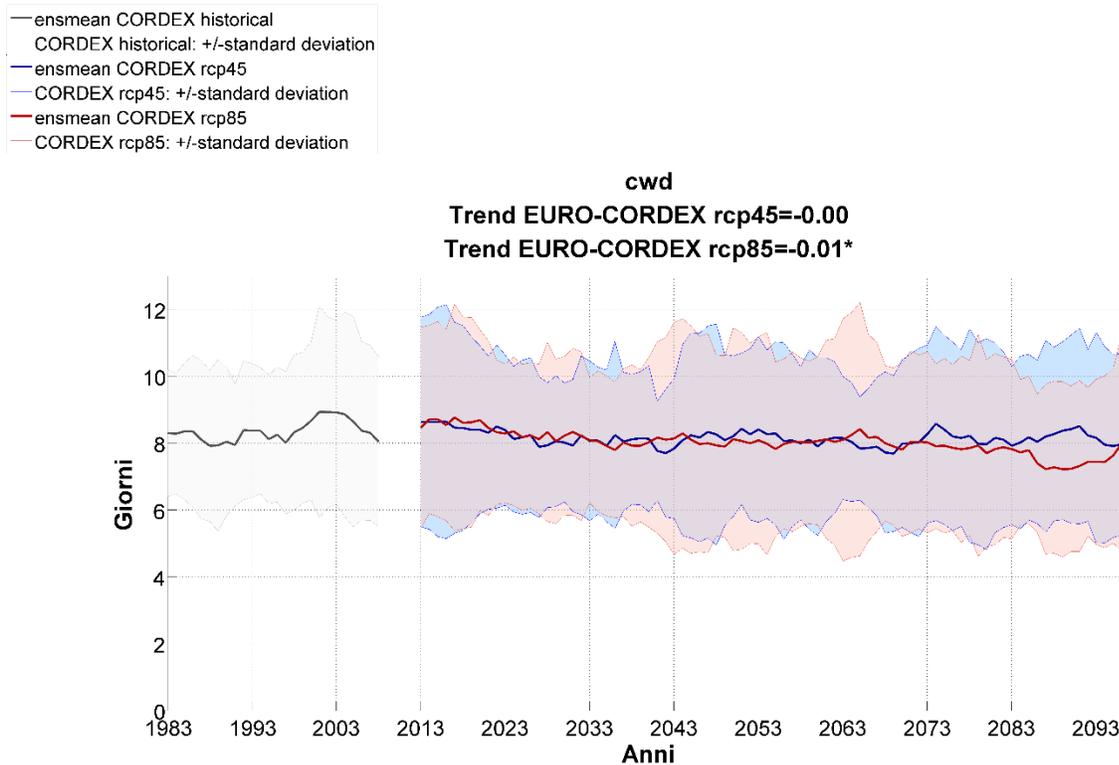
**Figure 15: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « rx5day », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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

Conformément au scénario RCP8.5, on note une faible diminution du nombre maximal de jours de pluie consécutifs à l'année (Figure 16), mais une augmentation du nombre maximal de jours avec une absence de précipitations (Figure 17) est attendue. Le scénario RCP4.5, au contraire, présente pour les indicateurs CWD et CDD un signal stationnaire mais pas statistiquement



significatif. En outre, pour le scénario RCP8.5, la Figure 16 montre une faible augmentation de la dispersion sur la période à moyen terme alors que sur la Figure 17 cette augmentation est observée sur la période à long terme. Le nombre de modèles contenus en moyenne dans la plage d'incertitude est de 14 sur 18 pour CWD et 13 sur 18 pour CDD.

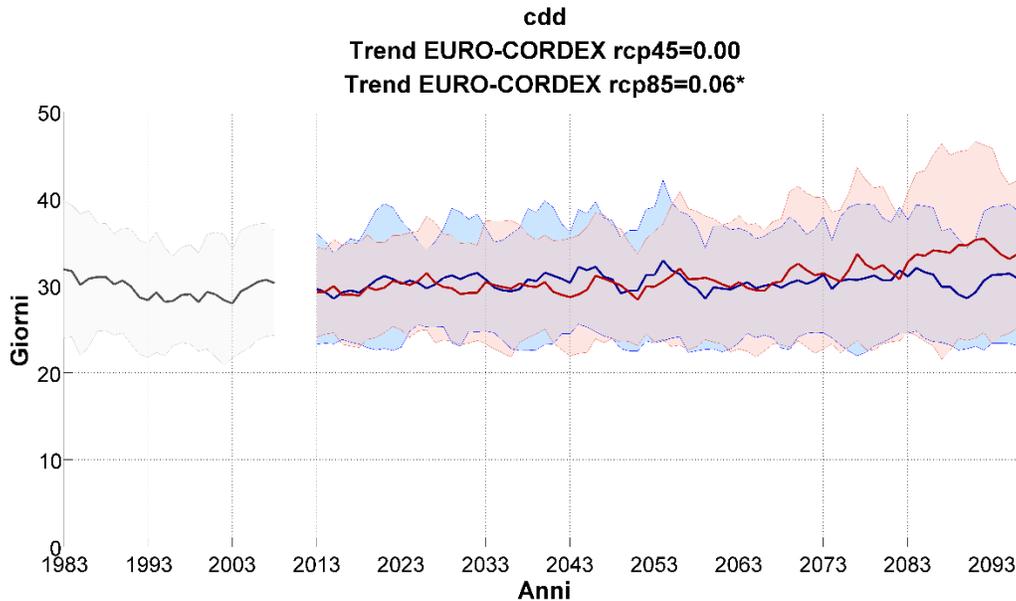


**Figure 16: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « c wd », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



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



**Figure 17: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « cdd », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii 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 les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



# Interreg

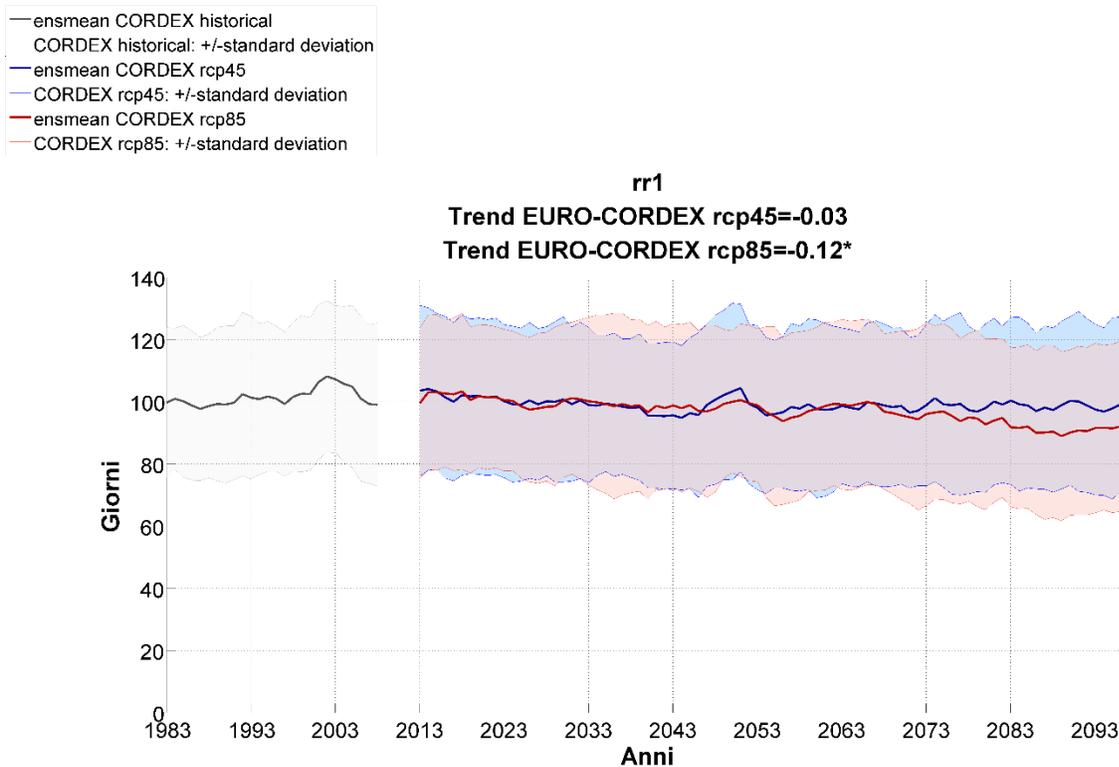


## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



La Figure 18 présente une projection de la diminution des jours de pluie statistiquement significative, qui est accrue selon le scénario RCP8.5. En général, la plage d'incertitude montre une variabilité contenue selon les deux scénarii, dans laquelle 14 modèles sur 18 rentrent en moyenne.

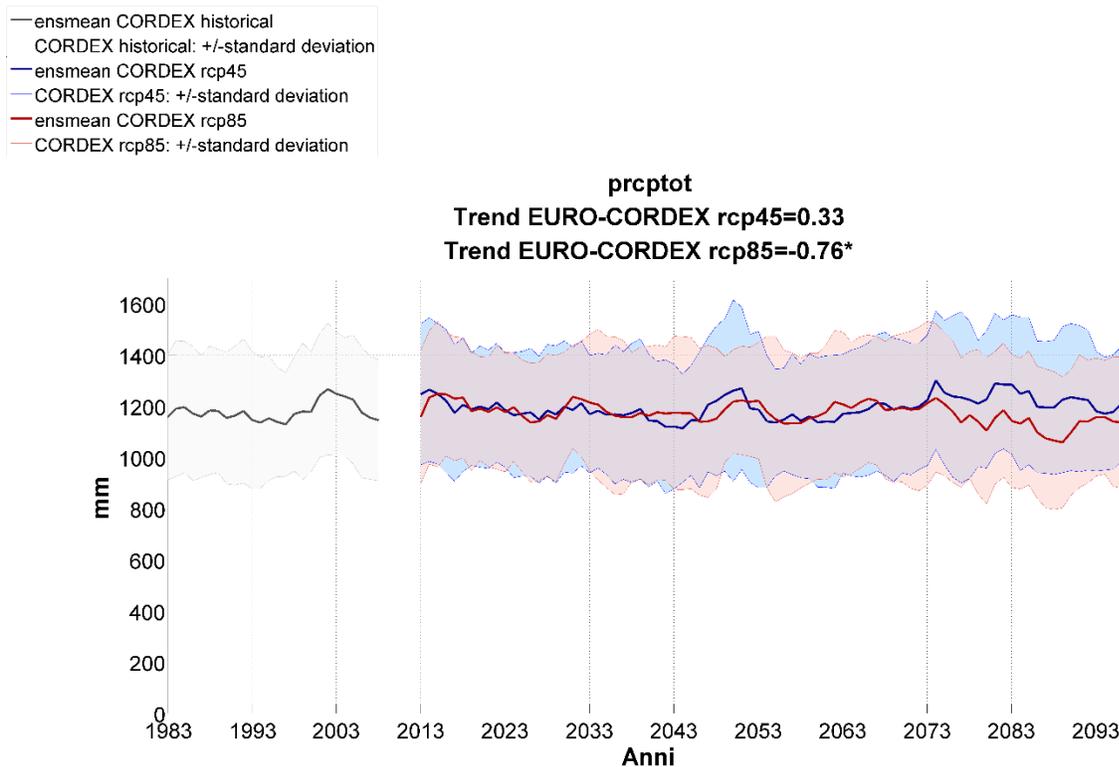


**Figure 18: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « rr1 », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). La ligne foncée épaisse indique la projection climatique moyenne (ensemble mean), calculée en faisant la moyenne des valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



Sur la **Figure 19**, conformément au scénario RCP4.5, on ne note pas de tendance statistiquement significative pour l'indicateur PRCTOT. Au contraire, le scénario RCP8.5 montre une tendance de décroissance statistiquement significative. En général, la *plage* d'incertitude montre une variabilité contenue selon les deux scénarii, dans laquelle 17 modèles sur 18 rentrent en moyenne.



**Figure 19: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur « prcptot », en considérant la période historique (en gris) et les scénarii 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 les valeurs de toutes les simulations considérées ; les zones ombrées représentent la plage obtenue en additionnant et en soustrayant à l'ensemble mean l'écart-type des valeurs simulées par les modèles et fournissent une mesure de l'incertitude des projections. Toutes les simulations EURO-CORDEX actuellement disponibles et en commun entre la période historique et les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, ou 18 ont été considérées. Les résultats sont obtenus en effectuant une moyenne mobile sur une fenêtre de 5 ans.**

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



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Conclusioni

Une caractérisation de la variabilité climatique locale observée pour les communes de Savone et Vado Ligure a été présentée sur la période 2001-2017 à partir des données horaires numérisées de la température (minimale et maximale) et des précipitations de la *station de Savone - Istituto Nautico*<sup>6</sup> disponibles sur le site <http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>.

En particulier, 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 concernée seront très utiles pour les études sectorielles successives destinées à évaluer les principaux impacts locaux du changement climatique sur lesquelles les stratégies d'adaptation et d'atténuation sont fondées.

En termes de température, on observe une température maximale moyenne d'environ 28 °C pendant l'été et une température minimale moyenne d'environ 6°C pendant l'hiver. Au contraire, en termes de précipitation, l'automne s'avère être la saison la plus pluvieuse (avec 348 millimètres) alors que l'été est caractérisé par des précipitations plus faibles, par rapport aux autres saisons, d'environ 86 millimètres.

La station d'observation utilisée indique un nombre moyen de jours à l'année avec une température maximale supérieure à 25°C (SU) égal à 96 alors que le nombre de jours à l'année avec une température minimale journalière supérieure à 20°C (TR) est égal à 61.

En termes de précipitation, la station d'observation est caractérisée par environ 880 millimètres annuels de pluie (PRCTOT), par un maximum de précipitations sur 5 jours consécutifs (RX5DAY) relativement élevé (environ 160 mm).

Un cadre synthétique des projections climatiques futures à court terme (2011-2040), moyen terme (2041-2070) et long terme (2071-2100) est donné ci-dessous, en utilisant les données simulées par les divers modèles climatiques régionaux disponibles à la résolution d'environ 12 km dans le programme EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>). Les projections climatiques futures ont été obtenues en considérant deux scénarii IPCC différents : RCP4.5 et RCP8.5 afin d'évaluer la valeur moyenne (ensemble mean) des projections climatiques par rapport aux deux scénarii considérés et l'incertitude associée (Kotlarski et al. 2014, Jacob et al. 2014). Ces analyses ont été effectuées sur une zone centrée sur la station d'observation de Savone - Istituto Nautico qui couvre également la zone de Vado Ligure.

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

---

Cette approximation a été effectuée sur indication d'ARPA Liguria qui a indiqué la station d'observation (station de Savone - Istituto Nautico) utilisable pour effectuer une analyse climatique de type local sur la commune de Vado Ligure.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ces analyses soulignent une augmentation générale des températures plus prononcée dans la période à long terme et en considérant le scénario RCP8.5 (plus pessimiste) ; en particulier, une forte augmentation du nombre de jours à l'année avec des températures minimales supérieures à 20°C (TR) et avec des températures maximales supérieures à 25°C (SU) est évidente. En outre, cette zone est concernée par une réduction du nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0°C (FD).

En termes de précipitation, on note qu'une augmentation de l'intensité de la précipitation (SDII) est attendue, comme des cumuls maximaux de précipitation sur 5 jours (RX5DAY) et du nombre maximal de jours consécutifs à l'année avec des précipitations inférieures à 1 millimètre (CDD), plus prononcée selon le scénario RCP8.5 et en considérant la période 2071-2100. Au contraire, une réduction du nombre de jours de pluie (RR1) et du nombre maximal de jours de pluie consécutifs à l'année (CWD) est généralement attendue. En outre, à long terme, selon le scénario RCP8.5, une diminution du nombre de jours avec des précipitations accrues égales à 10 mm (R10) et des précipitations annuelles lors des jours de pluie (PRCTOT) est attendue. Le profil climatique local des communes de Savone et Vado Ligure, obtenu sur la base des observations et des projections climatiques actuellement disponibles, sera utilisé comme instrument de support et de synthèse par les experts des études d'impact spécifiques.



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Glossaire<sup>7</sup>

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

**Anthropique** : Causé par les êtres humains.

**Changement climatique** : le terme changement climatique fait référence à un changement de l'état du climat qui persiste pour une durée prolongée (habituellement au moins des décennies), et identifiable (par exemple, en utilisant des 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 forceurs externes, comme les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques, et les changements anthropiques répétés de la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des sols. Il faut noter que la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), dans son article 1, définit le changement climatique comme : « un changement du climat, attribuable directement ou indirectement à l'activité humaine, qui modifie la composition de l'atmosphère mondiale et qui s'ajoute à la variabilité climatique naturelle observée au cours de périodes comparables ». Par conséquent, l'UNFCCC fait une distinction entre le changement climatique imputable aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère, et la variabilité climatique attribuable à des causes naturelles.

**Cycle saisonnier** : moyenne mensuelle, sur la période de trente ans considérée, de la variable concernée. Également appelé cycle annuel.

**Climat** : Le climat au sens strict est habituellement défini comme le temps météorologique moyen ou, de manière plus rigoureuse, comme la description statistique en termes de moyenne et de variabilité de grandeurs importantes, au cours d'une période de temps qui va de mois à des milliers ou des 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 (OMM - World Meteorological Organization). Les grandeurs importantes sont dans la majorité des cas des variables de surface, telles que la température, les précipitations et les vents. Au sens plus étendu et général, le climat est l'état, avec une description statistique, du système climatique.

**Extrêmes climatiques** : La survenue de la valeur d'une variable atmosphérique au-dessus (ou en dessous) d'une valeur de seuil proche de l'extrémité supérieure (ou inférieure) de la plage de valeurs observées de la variable. Sont entendus comme des synonymes d'événements extrêmes, les événements météorologiques extrêmes.

**Impacts (conséquences, résultats)** : les effets sur les systèmes naturels et humains. Dans le rapport WGII AR5 de l'IPCC, le terme impacts est utilisé principalement pour se référer aux effets des événements météorologiques et climatiques extrêmes et des changements climatiques, sur les systèmes naturels et humains. Les impacts se réfèrent généralement aux effets sur les

---

<sup>7</sup> Glossario estratto da Caciagli L. Glossario minimo dell'IPCC [http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC\\_AR5\\_Glossario\\_IT.pdf](http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf)



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



personnes, les habitations, la santé, les écosystèmes, les biens et les ressources économiques, sociales et culturelles, les services (notamment environnementaux) et les infrastructures dus à l'interaction des changements climatiques ou des événements climatiques dangereux qui se présentent dans un délai spécifique, et à la vulnérabilité d'une société ou d'un système exposés auxdits changements climatiques. Il est également fait référence aux impacts comme à des conséquences et des résultats. Les impacts des changements climatiques sur les systèmes géophysiques, y compris les alluvions, la sécheresse et la hausse du niveau des mers, représentent un sous-ensemble d'impacts appelés impacts physiques.

**Niveau moyen des mers :** Le niveau de la surface des océans en un point spécifique, pondéré sur une période prolongée, comme un mois ou une année. Le niveau moyen des mers est souvent utilisé comme une donnée nationale à laquelle les altitudes terrestres sont liées.

**Modèle climatique :** La représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes, sur leurs interactions et processus de feedback, en tenant compte de certaines de 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 peuvent être identifiés, différents entre eux par certains aspects, comme le nombre de dimensions spatiales, le cadre dans lequel les processus physiques, chimiques ou biologiques sont représentés de manière explicite, ou le degré de paramètres empiriques utilisés. Les modèles de circulation générale accouplés atmosphère-océan (AOGCM – Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Models) fournissent une représentation du système climatique proche ou plus complète du spectre actuellement disponible. Il existe une évolution vers des modèles plus complexes avec de la chimie interactive et de la biologie. Les modèles climatiques sont utilisés comme des instruments de recherche pour étudier et simuler le climat, ou avec des finalités opérationnelles, notamment les prévisions climatiques mensuelles, saisonnières et inter-annuelles.

**Modèle climatique régional :** il s'agit d'un modèle climatique caractérisé par une meilleure résolution spatiotemporelle par rapport aux modèles de circulation générale ; ils sont en mesure de fournir les caractéristiques du climat à une échelle régionale (ou entre 10 et 50 km environ)

**Percentile :** Le percentile est une valeur sur une échelle de 100 qui indique le pourcentage de la valeur du jeu de données 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 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, cela 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 futures ou de concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols, généralement obtenue en utilisant les modèles climatiques. Les projections climatiques sont différentes des prévisions climatiques par leur dépendance du scénario



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



d'émission/concentration/forceur radiatif utilisé, à son tour basé sur les hypothèses concernant par exemple les futurs développement socio-économiques et technologiques qui pourraient survenir ou pas

**Scénario climatique** : la représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, basée sur un ensemble intérieurement cohérent de relations climatologiques, construit pour un usage explicite dans l'étude des conséquences potentielles du changement climatique anthropique, et qui sert souvent de donnée d'apport aux modèles sur les impacts. Les projections climatiques servent souvent de matière première pour construire des scénarii climatiques, mais les scénarii climatiques nécessitent normalement des informations supplémentaires, comme par exemple sur le climat actuel observé.

**Scénario d'émission** : La représentation plausible du futur développement des émissions de substances qui sont potentiellement actives radiativement (par exemple, gaz à effet de serre et aérosols), basée sur un ensemble cohérent et intérieurement en accord avec des hypothèses sur les éléments moteurs (tels que le développement démographique et socio-économique et les changements technologiques) et leurs relations clés. Les scénarii de concentration, tirés des scénarii d'émission, sont utilisés comme des données d'apport des modèles climatiques, pour calculer les projections climatiques. Le rapport IPCC (1992) a présenté un ensemble de scénarii d'émission, utilisé comme base pour les projections climatiques de l'IPCC (1996). Ces scénarii d'émission sont mentionnés comme les scénarii IS92. Les scénarii d'émission, les soi-disant scénarii SRES, ont été publiés dans le rapport spécial sur les scénarii d'émission de l'IPCC (IPCC Special Report on Emission Scenarios; Nakićenović et Swart, 2000), et certains d'entre eux ont été utilisés, entre autres, comme base pour les projections climatiques présentées dans les chapitres 9 - 11 du rapport IPCC de 2001 et dans les chapitres 10 et 11 du rapport IPCC de 2007. Les nouveaux scénarii d'émission pour le changement climatique, les quatre Representative Concentration Pathway, ont été développés pour la présente évaluation de l'IPCC mais indépendamment de celle-ci.

**Température superficielle moyenne mondiale** : une estimation de la température superficielle moyenne mondiale de l'air. Toutefois, pour les variations au cours du temps, on utilise seulement les anomalies, comme les écarts avec une climatologie, plus communément basées sur la moyenne globale pondérée sur la zone de l'anomalie de température superficielle de la mer, et de l'anomalie de la température de l'air sur la surface terrestre.

**Variabilité climatique** : le terme variabilité climatique fait référence aux variations de l'état moyen et d'autres statistiques (comme l'écart-type, la survenue d'événements extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles en plus de celle des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels, dans le système climatique (variabilité interne), ou à des variations du forcéur externe naturel ou anthropique (variabilité externe).



**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



## Liens vers des 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/](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\\_ambiente&idmateria=4](https://www.arpae.it/report_ambientali_full.asp?idlivello=1563&tipo_elenco=rep_ambiente&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](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](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](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](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](http://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/04/IPCC_AR5_Glossario_IT.pdf)
- J. <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>
- K. <http://www.blueap.eu/site/>
- L. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima>
- M. [http://www.scia.isprambiente.it/home\\_new.asp](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](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\\_indicatoriimpatticambiamenticlimatici.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files2017/snpa/Delibera15_indicatoriimpatticambiamenticlimatici.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



## ABREVIATIONS, 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



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



JCOMM	Joint Technical commission for Oceanography and Marine Meteorology
MATTM	Ministero Ambiente Tutela Territorio Mare
NWIOI	North West Italy Optimal Interpolation
PNACC	Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
RCM	Regional Climate Model
SCIA	Sistema dati Climatici Interesse Ambientale
SNACC	Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
WMO	World Meteorological Organization