



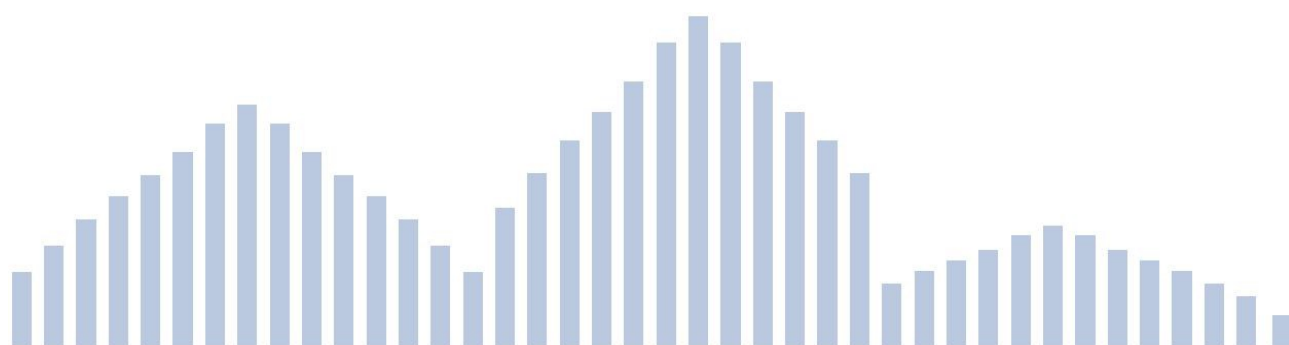
Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ADAPT

PROFIL CLIMATIQUE LOCAL MUNICIPALITÉ DE LIVOURNE



1. Introduction

1.1 Le changement climatique

Le terme de changement climatique se réfère à une variation statistiquement significative de la valeur moyenne à long terme d'un ou de plusieurs paramètres météorologiques (température, précipitations, couverture nuageuse, température de la mer, etc.) à de différentes échelles spatiales (régionale, continentale, hémisphérique et globale).

Statistiquement pour évaluer de telles dynamiques on considère une période d'au moins 30 ans.

Le changement climatique, causé par de différents facteurs tels que les variations de l'activité solaire, la composition de l'atmosphère, la disposition des continents, les courants océaniques ou l'orbite terrestre, est un événement largement présent dans l'histoire de la planète Terre. En effet, tous ces facteurs peuvent modifier la répartition de l'énergie et le bilan radioactif terrestre, modifiant ainsi le climat. Cependant, si certaines de ces forces ont une action systématique sur le climat (par exemple, l'activité solaire), d'autres, telles que l'influence anthropique, semblent chaotiques et imprévisibles dans le temps, car les émissions de gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone, azote, méthane, etc., contribuent à modifier la composition chimique de l'atmosphère et, par conséquent, le bilan radiatif terrestre, provoquant une modification de la dynamique climatique beaucoup plus rapide que celle provoquée par le forçage exclusivement naturel. La modification du bilan radiatif terrestre dans un court laps de temps empêche l'adaptation des différents écosystèmes qui ont tendance à amplifier davantage le changement climatique et pose en même temps des problèmes de rétroaction atmosphérique. À ce jour, l'effet le plus évident du changement climatique en Méditerranée est une augmentation rapide de la température plus marquée en été, par rapport au passé récent. Ces dernières années ont été marquées par des vagues de chaleur particulièrement intenses et de longue durée. En hiver, la température a changé moins, en particulier dans les plaines.

1.2 *Le climat de la région Toscane et des zones côtières*

Le climat de la Toscane varie considérablement dans les différentes provinces et dans les distinctes régions, principalement en raison de diverses variables telles que la présence de la mer, qui mouille la région à l'ouest, les zones montagneuses centrales et la crête des Apennins délimitant le territoire au nord et à l'est. Les zones marines ou proches de la mer au climat plus doux sont les îles de l'archipel toscan, tandis que les zones les plus froides sont celles proches des Alpes Apuane. La bande côtière a un climat typiquement méditerranéen, avec des températures moyennes annuelles comprises entre 15°- 16° et sur les 16°-16,5° C 16-16.5°C dans les zones les plus au sud de la région (par exemple, la Maremma Toscana).

Les mois le plus froid et le plus chaud sont respectivement janvier et juillet.

En janvier, sur les zones côtières, les températures moyennes avoisinent les 9°C. Les températures minimales sont presque toujours supérieures à 0°C et les valeurs les plus élevées se concentrent notamment au sud de la région et sur les îles. La moyenne de juillet se situe entre 24° et 25°C, avec des maxima ne dépassant pas généralement les 35°C, à l'exception des années particulièrement chaudes, avec des excursions thermiques annuelles et journalières assez peu élevées. En référence à la documentation établie par ISPRA, concernant les indicateurs climatiques pour l'année 2017 (ISPRA, 2017), la Toscane a été touchée par des vagues de chaleur pendant l'été. En particulier, les trois grandes vagues de chaleur ont eu lieu au cours des dix premiers jours de juin et août, avec des valeurs régionales de la température moyenne de près de 4°C supérieures à la moyenne de référence de 1981-2010. Relativement à la vague de chaleur début d'août 2017, en ce qui concerne les températures maximales et leur durée (31 juillet-9 août), il s'est agi probablement de la deuxième plus intense vague en Toscane après celle de juillet 1983.

2. Analyse climatique: période actuelle

2.1 Le climat de Livourne

En référence au contexte climatique défini par le Plan national d'adaptation aux Changements Climatiques (PNACC, 2017), la ville de Livourne fait partie de la macro région 2, c'est-à-dire celle identifiée par la plaine du Pô, la partie haute de la côte adriatique et les zones côtières du centre-sud de l'Italie. La macro région 2 est "*caractérisée par le plus grand nombre de jours,*

en moyenne, au-dessus du seuil choisi pour la classification des jours d'été (29,2°C), par rapport à toutes les autres zones et en même temps par des températures moyennes élevées. Le nombre maximale de jours consécutifs sans pluie est aussi élevé (CDD) par rapport à d'autres régions du centre-nord de l'Italie; le régime pluviométrique, en termes de valeurs saisonnières (WP et SP) et extrêmes (R20 et R95p), présente des caractéristiques intermédiaires " (Figure 1). Le climat de la ville de Livourne est un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds atténués par la présence de brises de mer et par des hivers non particulièrement froids grâce à l'action atténuante de la mer, avec des précipitations principalement concentrées en automne et en hiver.

MACRO REGION 2

PLAINE DU PO, HAUTE COTE ADRIATIQUE, ZONES COTIERES DU CENTRE-SUD

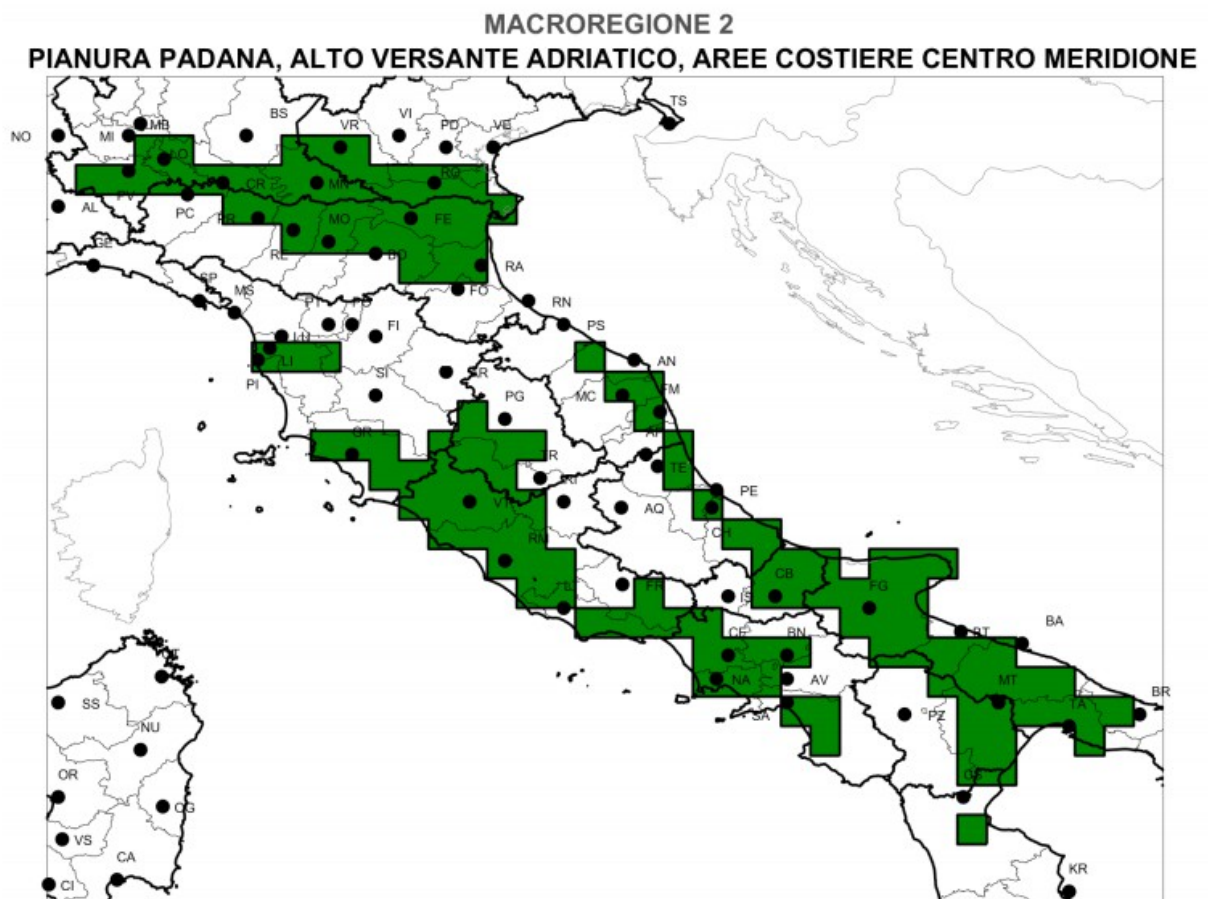


Figure 1 - Zones incluses dans la macro-région 2 identifiées par le plan national d'adaptation aux changements climatiques. Source: PNACC, 2017.

2.2 Variabilité climatique actuelle

Étant donné que les macros régions climatiques définies dans le PNACC ne sont, souvent, pas à même, de bien représenter le climat local, car elles utilisent en nombre limité de stations météorologiques, afin de définir le profil climatique spécifique de la ville de Livourne il a été nécessaire de recueillir des données météorologiques de longue période qui par des analyses statistiques appropriés ont permis d'évaluer la variation climatique actuelle. Afin d'obtenir une analyse plus détaillée des variations climatiques ayant intéressé la ville de Livourne au cours des dernières décennies, des jeux de données in situ (pour la ville de Livourne) et des jeux de données en grille ont été utilisés, c'est-à-dire des données météorologiques quotidiennes interpolées avec une résolution spatiale de 25 km carrés produits par le JRS Monitoring Agricultural ResourceS (MARS).

L'ensemble de données in situ concerne la station appartenant au SIR (Service hydrologique régional, http://www.sir.toscana.it/archivio/pop_up.php?IDST=pluvio&IDS=TOS10001960).

L'ensemble de données comprend des données concernant la période 1955-2000. Pour les données successives à l'an 2000, la station d'origine a été reconstruite selon les techniques statistiques appropriées à travers l'ancienne station météorologique CIBIC, Livorno mareografic ISPRA Livorno Mareografo. Cet ensemble de données a été utilisé pour évaluer la climatologie à long terme de la municipalité de Livourne. Les tendances moyennes en matière de température et de pluie ont été analysées, ainsi que certains extrêmes suggérés par le groupe d'experts sur la détection et les indices de changement climatique (ETCCDI), qui a défini un ensemble d'indicateurs synthétiques, principalement basés sur les valeurs de température et de précipitation. Les valeurs extrêmes analysées sont les suivantes: i) SU (jours d'été), nombre de jours par an avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C; ii) TR/TN (nuits tropicales), nombre de jours par an avec une température minimale supérieure à 20°C; iii) FD (jours de gel), le nombre de jours de gel défini comme le nombre de jours par an avec une température minimale quotidienne de moins de 0°C; iv) R10, nombre de jours par an avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm; v) R20, nombre de jours par an avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm.

L'ensemble de données en grille a été utilisé afin d'identifier une climatologie à long terme pour l'étendue de la province de Livourne. Celle-ci occupe une zone plus vaste sur laquelle effectuer des analyses statistiques pouvant être considérées comme représentatives du

climat de l'ensemble de la commune. L'ensemble de données de la grille a permis d'obtenir des données caractérisées par la continuité et l'exhaustivité de la série historique, l'absence de valeurs aberrantes et l'homogénéité de la série elle-même, ainsi que la fiabilité des données jusqu'à la dernière année (2017). Cet ensemble de données a permis, en plus de l'analyse de la variabilité des valeurs moyennes et extrêmes, deux actions supplémentaires distinctes: a) Analyse de la tendance climatique pour la période 1975-2017. Celle-ci, en définissant les conditions moyennes sur une très longue période, nous permet de comprendre quelles ont été et quelles sont actuellement les conditions climatiques moyennes de la ville; b) Analyse de la tendance climatique pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017. Cette analyse, qui encadre les conditions moyennes sur deux périodes longues mais distinctes, permet de mettre en évidence les différences climatiques causées par les changements climatiques au cours des dernières décennies. En particulier, l'analyse s'est concentrée sur les variations de la période entre les deux sous-périodes afin de mettre en évidence les variations de la température et des précipitations, autant en valeur moyenne que dans les extrêmes, observées au cours des dernières décennies, comme l'indiquent également les rapports du GIEC.

2.3 Ensembles de données in situ

2.3.1. Tendence climatique pour la période 1955-2010

L'analyse des tendances annuelles des températures et des précipitations pour la ville de Livourne montre une augmentation des températures maximales et minimales pour les dernières décennies (ligne noire continue) par rapport à la période précédente (ligne pointillée). Cette augmentation est nettement visible et marquée pour les températures, alors qu'il n'y a pas de tendance claire pour les précipitations.

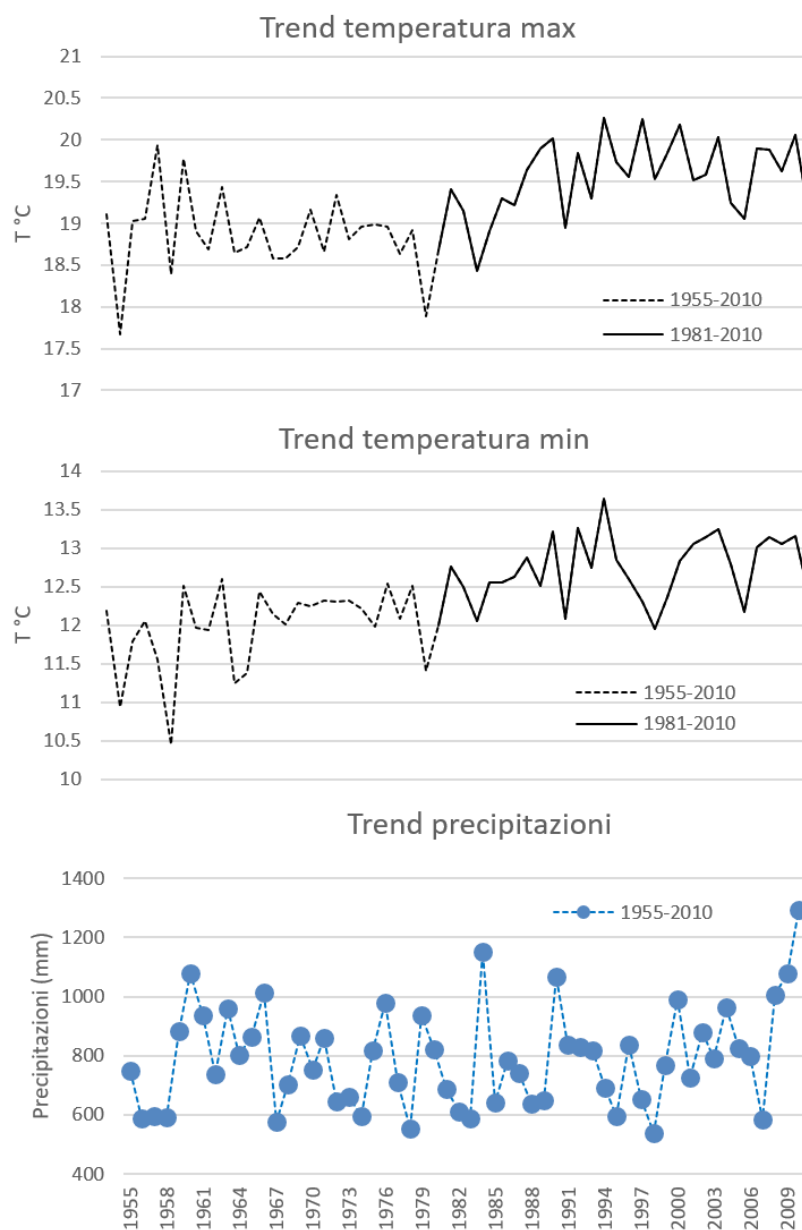


Figure 2 - Evolution de la configuration moyenne annuelle des températures maximales et minimales et des précipitations cumulées totales pour la ville de Livourne pour les périodes 1955-2010 et 1981-2010. Mesures obtenues in situ à partir des données de la station SIR.

Afin de mieux comprendre l'évolution du climat sur le territoire de Livourne, les différences, dans l'évolution de la température annuelle, (moyenne annuelle maximale et minimale) et des précipitations (cumul annuel) pour les périodes 1955-1980 et 1981-2010, ont été mises en évidence. Considérant que les deux périodes couvrent chacune les 30 années requises pour caractériser la dynamique climatique, l'analyse des différences entre elles a fourni des indications sur l'évolution des deux variables météorologiques (tableau 1).

		P1 (1955-1980)			P2 (1981-2010)			Δ (P2-P1)
		Tmax (°C)	Tmin (°C)	PP (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	PP (mm)	Tmax (°C)
Année	Valeur max	19.9	12.6	1078.6	20.3	13.6	1294.6	0.33
	Valeur min	17.7	10.4	552.0	18.4	12.0	538.2	0.76
	Valeur moy	18.9	12.0	780.1	19.5	12.7	802.3	0.67
Saison (Valeur moyenne)	Printemps	20.6	13.4	49.4	21.2	14.3	53.2	0.63
	Été	26.1	18.7	47.1	27.1	19.7	47.8	0.99
	Automne	16.0	9.5	101.8	16.8	10.3	113.7	0.74
	Hiver	12.7	6.2	68.0	13.1	6.6	56.7	0.46

Tableau 1 – évolution climatique dans la commune de Livourne sur une base annuelle et saisonnière pour la période 1955-2010. Le symbole Δ indique la variation entre les deux sous-périodes (P1, 1955-1980, P2, 1981-2010).

Le tableau 1 montre qu'au cours de la période la plus récente (P2), une augmentation généralisée de la température d'environ 0,7°C a été observée. En ce qui concerne les précipitations, il n'y a pas eu de grande variation par rapport aux conditions moyennes de la période précédente ($\Delta T = +22$ mm; + 3%). Sur une base saisonnière, les augmentations les plus significatives ont eu lieu en été, avec une augmentation de la température d'environ 1°C pour les températures plus basses ainsi que pour les plus élevées.

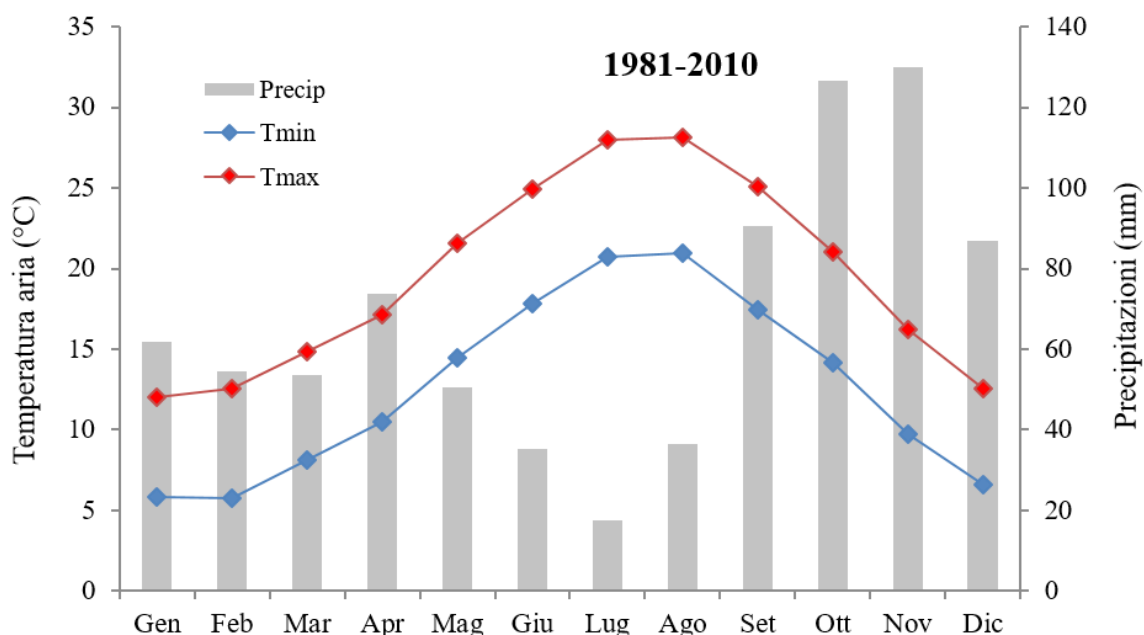


Figure 3 - Tendence climatique de la ville de Livourne pour la période 1981-2010. Mesures obtenues in situ à partir des données de la station SIR.

L'analyse climatique sur une échelle mensuelle pour la période 1955-2010 (Fig. 3) met en évidence pour la ville de Livourne un schéma typique des régions méditerranéennes, avec des précipitations concentrées principalement en automne (novembre, 123 mm) et des

températures maximales moyennes plus élevées observées en été, juillet et août (~ 27,5°C). Les températures minimales moyennes les plus basses (~ 5,5°C) sont observées par contre en janvier et en février.

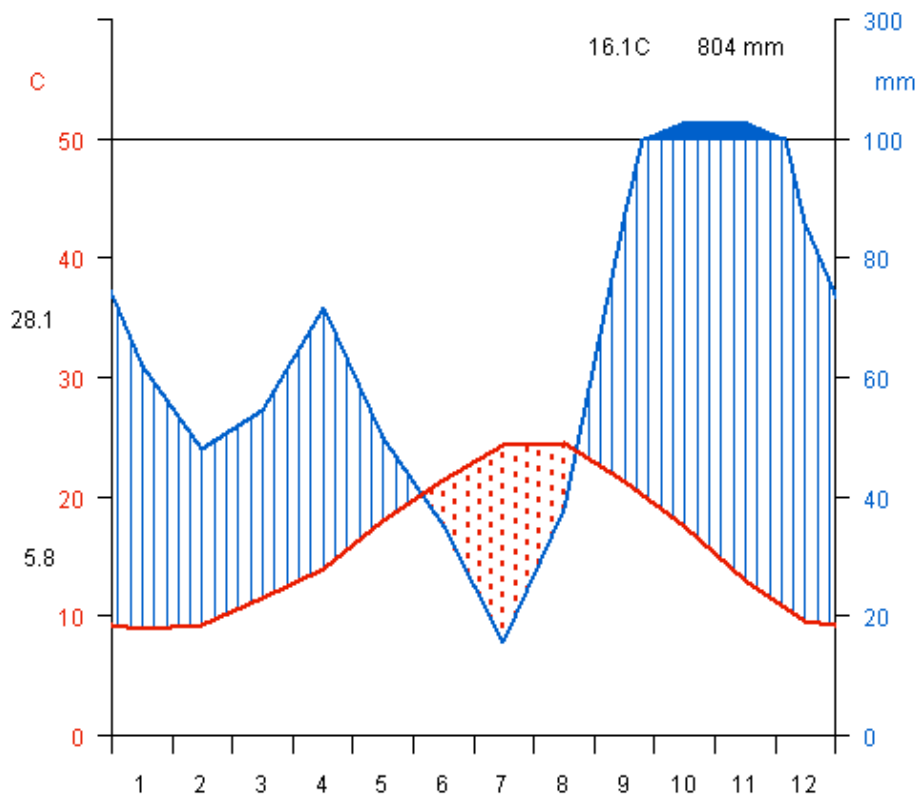


Figure 4 - Diagramme climatique de Walter et Lieth pour la ville de Livourne (Source: LaMMA)

Le diagramme climatique de Walter et Lieth (Fig. 4) souligne que la période de déficit hydrique ou d'aridité la plus importante se concentre principalement entre juin et août, alors que celle avec des précipitations supérieures à 100 mm et donc des phénomènes de instabilité hydrogéologique et hydraulique, se concentre à mi-automne (octobre-novembre). Le graphique montre en particulier les valeurs de sorte que, pour les précipitations mensuelles supérieures à 100 mm, la période des pluies est représentée par un quadrillage noir. En ce qui concerne l'analyse des températures extrêmes (tableau 2), un maximum de 37°C est détecté à la fin du mois de juillet 1983 et un minimum absolu pour le 11 janvier 1985. La même année, le nombre maximal de jours de glace (2) et de givre (11). Le nombre maximum de jours avec des températures supérieures à 34°C a été de 2 et ont été enregistrés en 1992, 1995 et 2003.

ESTREMI TERMICI	°C	Data
Tmin absolue	- 7.0	11/01/1985
Tmax absolue	37.0	30/07/1983
nombre total de jours de glace	2.0	1985
jours de glace max	2.0	1985
jours de gel moyens	3.0	
jours de gel max	11.0	1985-1991
jours T> 34° C en moyenne	0.0	
jours T> 34° C max	2.0	1992-1995-2003
indice de continentalité	16.0	

Tableau 2 - Températures extrêmes pour la ville de Livourne pour la période 1981-2010. (Source: LaMMA)

Les précipitations annuelles maximales (1295 mm) ont été enregistrées en 2010 et les minimales (539) en 1998. Sur une échelle saisonnière, les hauts et les bas ont tous été enregistrés en années différentes. Pour le printemps, le maximum (301) et le minimum (90) ont été enregistrés respectivement en 2010 et 1987. Pour la période estivale, le maximum (197) et le minimum (15) ont été enregistrés respectivement en 1984 et 2001. Pour période automnale, le maximum (557) et le minimum (80) ont été enregistrés respectivement en 1993 et 1983. Pour la période hivernale, le maximum (385) et le minimum (40) ont été enregistrés respectivement en 2009 et 1992.

EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES	Moyen	Max	Date pluie Max	Min	Date pluie Min
Pluie annuelle	804	1295	2010	539	1998
Pluie de printemps	176	301	2010	90	1987
Pluie d'été	88	197	1984	15	2001
Pluie d'automne	344	557	1993	80	1983
Pluie d'hiver	196	385	2009	40	1992

Tableau 3 - Extrêmes pluviométriques de la ville de Livourne pour la période 1981-2010. (Source: LaMMA)

2.4.1. Données de la grille de données

L'utilisation des données de la grille a permis de reconstituer pour un plus grand territoire des analyses statistiques pouvant être considérées comme représentatives du climat de l'ensemble de la municipalité jusqu'aux années les plus récentes (2017).

2.4.2. Tendances climatiques pour la période 1975-2017

L'analyse climatique pour la période 1975-2017 (données de la grille) met en évidence un schéma de type méditerranéen, avec des précipitations principalement concentrées en automne (novembre, 113 mm) et des températures maximales moyennes plus élevées observées pendant les mois d'été de juillet et août (~ 29 ° C).

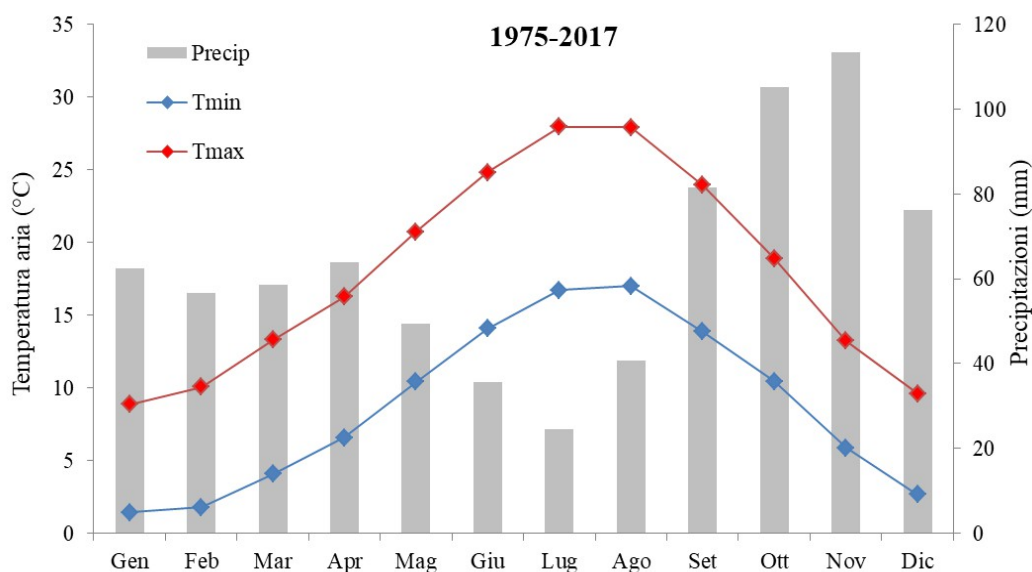


Figure 5 - Tendances climatiques (données quadrillées) de la région de Livourne pour la période 1975-2017. Cette période a été considérée comme un scénario de base ou de référence par rapport à l'analyse permettant d'évaluer la dynamique attendue pour l'avenir.

D'autre part, en ce qui concerne les valeurs extrêmes, fondamentales pour fournir des informations sur les principaux problèmes critiques de la région, de différents indicateurs ont été signalés selon le groupe d'experts sur la détection et les indices de changement climatique (ETCCDI).

L'analyse des extrêmes montre, pour la période 1975-2017, un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égale à 3538 (~ 82 par an en moyenne), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 270 et nombre de jours avec une température minimale quotidienne inférieure à 0°C égale à 1420 (~ 33 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm a été de 1081 (~25 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm a été de 357 (~8 par an en moyenne). Ces indices présentent un intérêt particulier, surtout pour la comparaison entre les deux périodes analysées, car ils ont mis en évidence un net changement de climat associé aux indicateurs extrêmes.

Le graphique définit la situation climatique moyenne actuelle et s'avère être le point de départ de l'analyse des variations climatiques moyennes entre les dernières décennies et pour l'évaluation des extrêmes. Ces derniers, évalués quotidiennement, sont rapportés dans la suivante section 3 concernant ce qui est attendu pour l'avenir.

2.4.3. Analyse de la tendance climatique pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017

L'étude du climat pour la période 1975-2017, en considérant une période de plus de 40 ans, ne reflète pas bien celles qui auraient pu être les modifications des principales variables climatiques (température et précipitations) au fil du temps. Pour identifier une tendance climatique et mettre ainsi en évidence les dynamiques prévisibles pour l'avenir, la série historique a donc été divisée en deux sous-séries, chacune identifiée par un tel nombre d'années a même de permettre une signification statistique acceptable. Les deux nouvelles séries chronologiques (1975-1999 et 2000-2017) ont ainsi permis d'évaluer l'évolution des principales variables climatiques entre les dernières décennies du XXe siècle et le début du XXIe siècle (Figure 6).

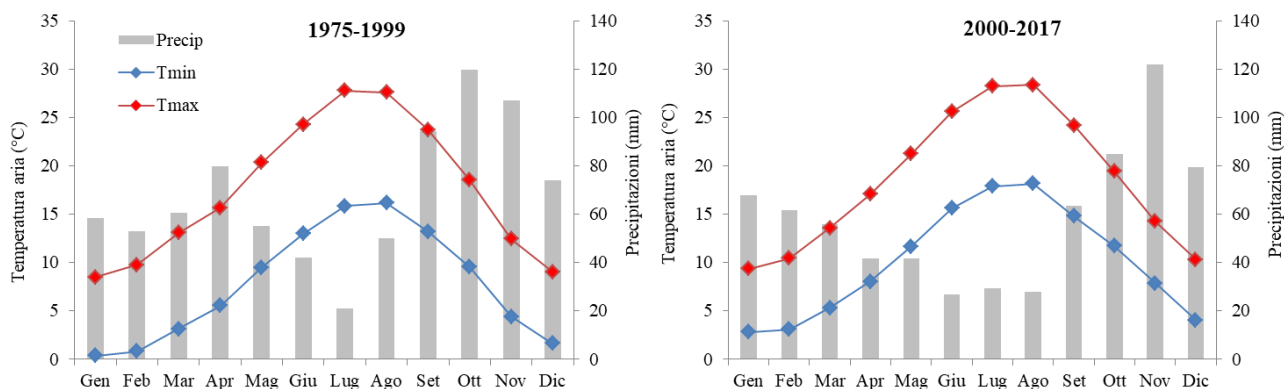


Figure 6 - Tendence climatique de la région de Livourne (ensemble de données mis en grille) pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017.

L'analyse climatique entre les deux séries a montré de différences significatives entre les deux sous-périodes. Les températures minimales ont augmenté de 2,3°C, tandis que les températures maximales ont augmenté d'environ 1°C. Les précipitations ont également montré des variations, avec une réduction (-12%) de la période la plus récente par rapport à 1975-1999.

Pour la période 1975-1999, l'analyse des extrêmes indique un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égale à 1947 (~ 77 en moyenne annuelle), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 19 et un nombre de jours avec une température minimale quotidienne inférieure à 0°C égal à 1102 (~ 44 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm a été de 675 (~ 27 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm a été de 221 (~ 8 par an en moyenne). En ce qui concerne les variables thermiques, les événements les plus significatifs se sont notamment produits en janvier 1985 (FD = -14°C); en juillet 1983 (SU = 35,2° C) et en juillet 1994 (TR/TN = 22°C). Afin de mieux mettre en évidence ces variations entre les deux périodes, la différence entre les températures, maximale, minimale et de précipitation, est présenté dans la figure 7.

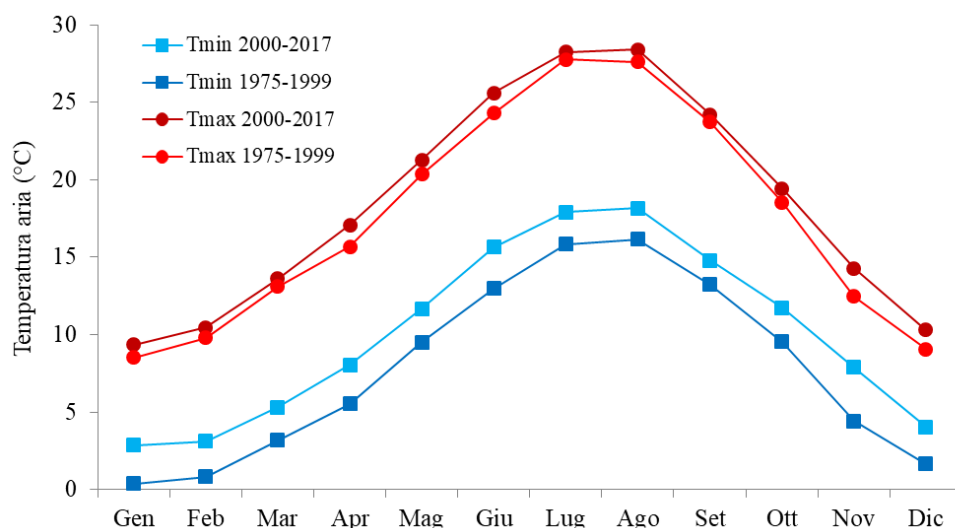


Figure 7 - Tendence climatique de la région de Livourne (ensemble de données mis en grille) pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017.

En ce qui concerne la différence de température, il ressort de la figure 7 que les principales différences concernent surtout les températures minimales. Les hausses les plus faibles ont eu lieu principalement au cours de la période automne-hiver, les mois de novembre, décembre et janvier présentant des différences plus marquées par rapport à la période précédente. L'analyse des extrêmes montre, pour la période 1999-2017, un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égal à 1591 (~ 83 par an en moyenne), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 251 (~ 13 par an en moyenne) et un nombre de jours avec une température minimale quotidienne de moins de 0°C égal à 318 (~ 16 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm était de 406 (~ 21 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm était de 136 (~ 7 par an en moyenne). En ce qui concerne les variables thermiques, les événements les plus significatifs se sont notamment produits en janvier 2000 (FD = -6,3°C); en juillet 2003 (SU = 37°C) et en août 2009 (TR/TN = 24,5°C).

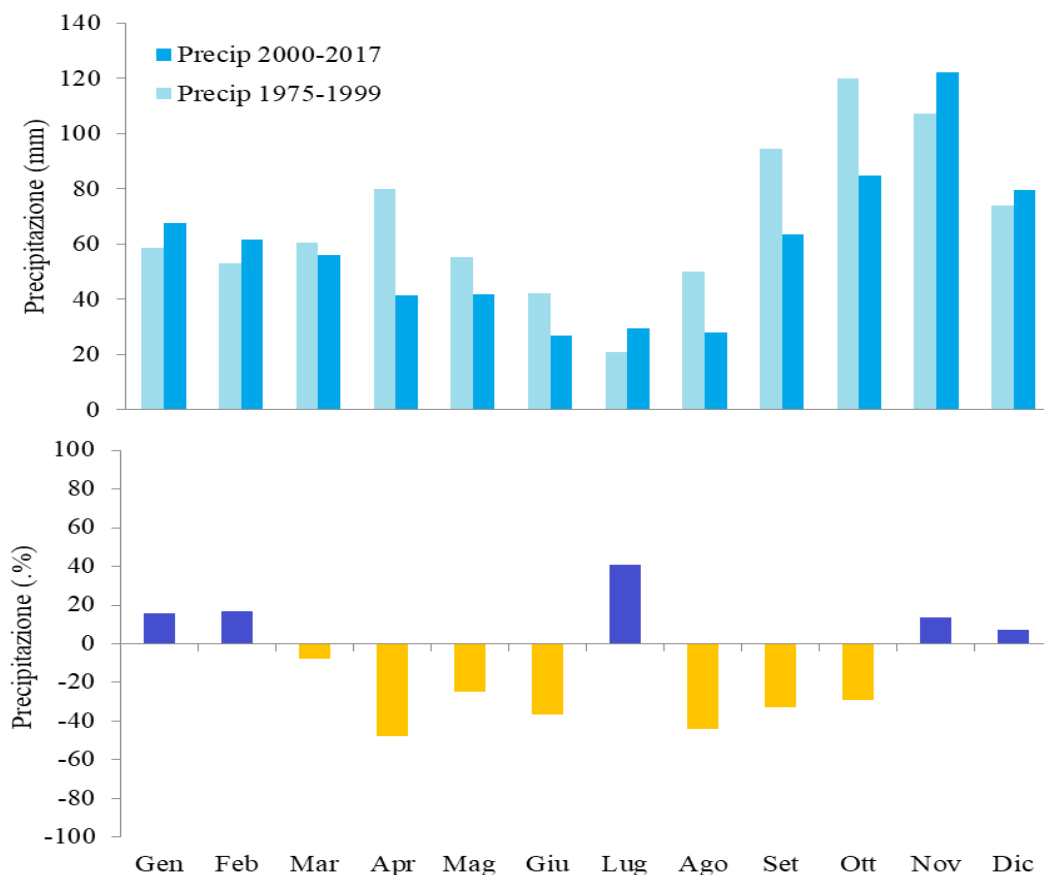


Figure 8 - Différences de précipitations dans la région de Livourne (données quadrillées) pour la période 1975-1999 et 2000-2017.

Les précipitations ont également montré des variations considérables. La figure 8 montre en haut les précipitations mensuelles cumulées pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017, tandis qu'en bas les différences ont été mises en évidence. La figure montre comment, par rapport à une augmentation des précipitations en hiver, probablement associée à une augmentation de la température au cours de ces mois, il y a eu par contre une forte diminution des précipitations pendant l'été et le printemps, avec des pics de plus de 40% de pluie en moins aux mois d'avril et août.

3. Analyse climatique: scénarios futurs

3.1. Scénarios climatiques futurs

Le schéma climatique de la ville de Livourne pour les prochaines décennies a été obtenu à partir de données générées par des modèles climatiques à échelle mondiale. Dans cette analyse, en particulier, le modèle LARS WG5 a été utilisé (Semenov 1998, 2002). En général, les modèles de circulation générale sont basés sur des scénarios de concentration de gaz à effet de serre et sont produits conformément aux directives du GIEC (Groupe d'experts international sur l'évolution du climat) (GIEC, 2013). Les scénarios qui sous-tendent les projections du RE5 (rapport d'évaluation V, RE5 ou rapport d'évaluation) sont connus sous le nom de trajectoires de concentration représentatives (RCP) car ils sont exprimés en termes de concentrations de gaz à effet de serre (le résultat des émissions) plutôt qu'en termes de niveaux d'émissions. Chaque scénario implique un' entité différente du changement climatique produite par les activités humaines (par exemple, chaque RPC montre une quantité différente de chaleur supplémentaire stockée dans le système terrestre à la suite des émissions de gaz à effet de serre) à laquelle les variables météorologiques et leur intensité sont par conséquent associées. (Figure 9).

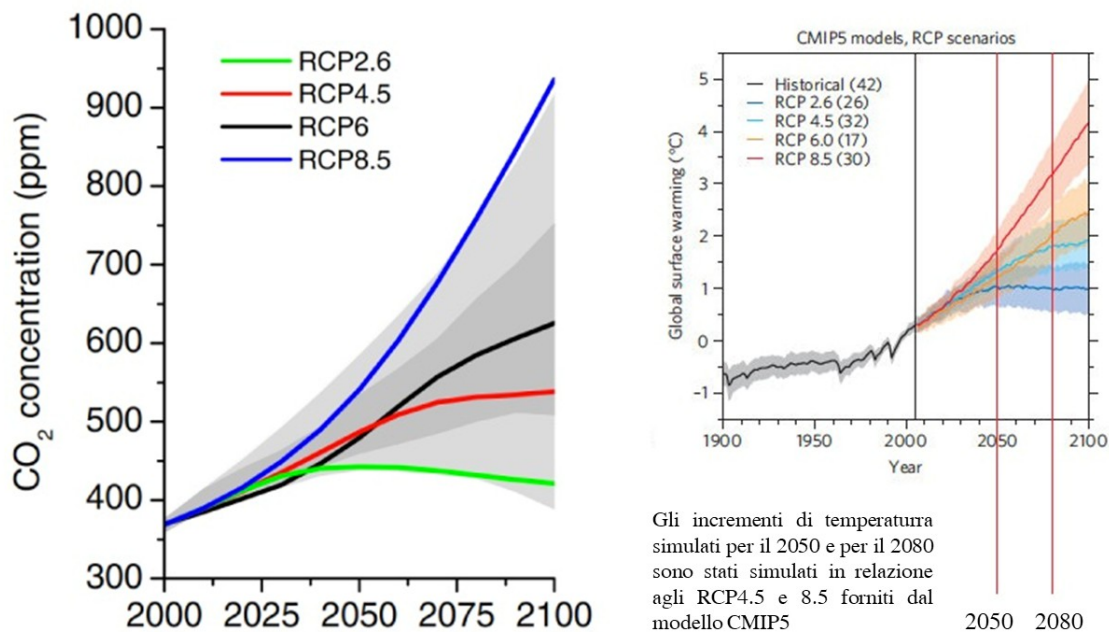


Figure 9 - Concentration de CO₂ hypothétique pour les différentes RCP (à gauche) et augmentation relative de la température de la surface de la Terre (à droite) hypothétique jusqu'à la fin du siècle. Source GIEC 2013 et Knutti & Sedlacek (2012).

Les scénarios climatiques reflètent un large éventail d'évolutions possibles du système terrestre, prévoyant ainsi de différents modèles en fonction d'aspects tels que l'accroissement démographique, l'évolution technologique, les politiques sociales, etc. Le nombre associé à chaque CPP indique la force du changement climatique généré par l'activité humaine d'ici 2100 par rapport à la période préindustrielle. Il existe 4 types de scénarios:

- a) RCP2.6 : adopte des stratégies "agressives" pour lesquelles les émissions de gaz à effet de serre commenceront à diminuer au bout de 10 ans environ et seront pratiquement nulles plus ou moins en 60 ans à compter de la période actuelle.
- b) RCP4.5 : (moyen- faible) adopte des stratégies qui prennent certaines initiatives pour contrôler les émissions. C'est un scénario qui suppose une stabilisation des émissions. D'ici 2070, les émissions de CO₂ tomberont au-dessous des niveaux actuels et la concentration atmosphérique se stabilisera, d'ici la fin du siècle, à environ deux fois plus que les niveaux préindustriels.
- c) RCP6.0: (moyen-élevé) Bien que très semblable au scénario 4.5, les émissions de CO₂, dans la RPC 6.0, continuent d'augmenter jusqu'à environ 2080. Les concentrations mettent plus de temps à se stabiliser et se situeront autour de 25%. Supérieur par rapport aux valeurs RCP4.5
- d) RCP8.5: Il adopte une approche «business as usual». D'ici 2100, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère auront triplé ou quadruplé par rapport aux niveaux préindustriels

Si on les compare à une augmentation de la température, avec des variations dépendant de la taille des réductions de ces émissions, l'augmentation de la température moyenne mondiale à la surface du sol et des océans pour chaque RPC sera comprise dans un écart variant entre : + 0,37°C et + 4,8°C. Plus précisément, cet intervalle découle des hypothèses spécifiques des différents TPC: RCP8.5 = 2.6-4.8°C; RCP6.0 = 1,4-3,1°C; RCP4, 5 = 1,1-2,6°C; RCP2, 6 = 0,3-1,7°C

3.2. Variabilité climatique future

Les projections climatiques futures comportent un niveau d'incertitude relativement élevé. Cependant, ce niveau d'incertitude varie en fonction de la variable considérée. Par exemple, le niveau d'incertitude lié à l'évolution des précipitations, notamment en termes de quantité, est assez élevé. Il est en effet difficile d'associer cette variable à des pourcentages précis ou à des changements d'événements en termes d'intensité et de fréquence.

Inversement, un niveau d'incertitude inférieur est plausible pour prévoir l'évolution des tendances de la température. Compte tenu de l'existence de telles incertitudes, souvent inhérentes à la méthodologie de création des données météorologiques elles-mêmes, il a été décidé d'envisager non seulement la variabilité des températures de manière linéaire (L; ou une augmentation constante chaque jour de l'année), mais aussi une variabilité saisonnière (VS) au changement climatique, afin de mettre en évidence un scénario alternatif mais toujours conforme et possible par rapport à ce qui pourrait se produire (Figure 10). L'analyse de la variabilité saisonnière a été utilisée conformément à la méthodologie fournie par le GIEC afin de réduire davantage le niveau d'incertitude dans l'analyse du climat. Les projections futures pour la ville de Livourne ont pris en compte deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et 8.5), deux périodes (2050 et 2080) et les deux méthodes de variation climatique décrites précédemment (variation linéaire, L et saisonnière SV, figure 10).

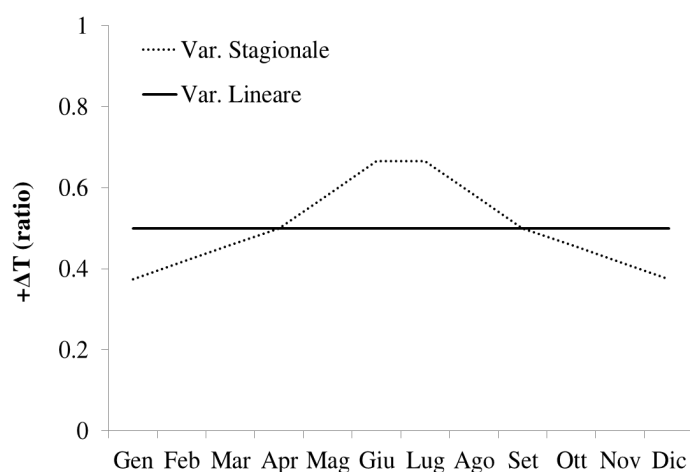


Figure 10 - Scénarios climatiques avec variation linéaire (L, ligne continue) et saisonnière (SV, ligne en pointillé). Dans les deux cas, l'augmentation annuelle moyenne de la température est égale.

3.3. Analyse climatique avec augmentation linéaire de la température

L'analyse climatique avec augmentation linéaire de la température fait référence à la génération de scénarios climatiques futurs prévoyant une augmentation constante de la température pour tous les mois de l'année. Les scénarios climatiques ont été générés en utilisant RCP4.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température de + 1,2°C et à + 2°C, respectivement, et RCP8.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température respectivement + 1,8°C et + 3°C

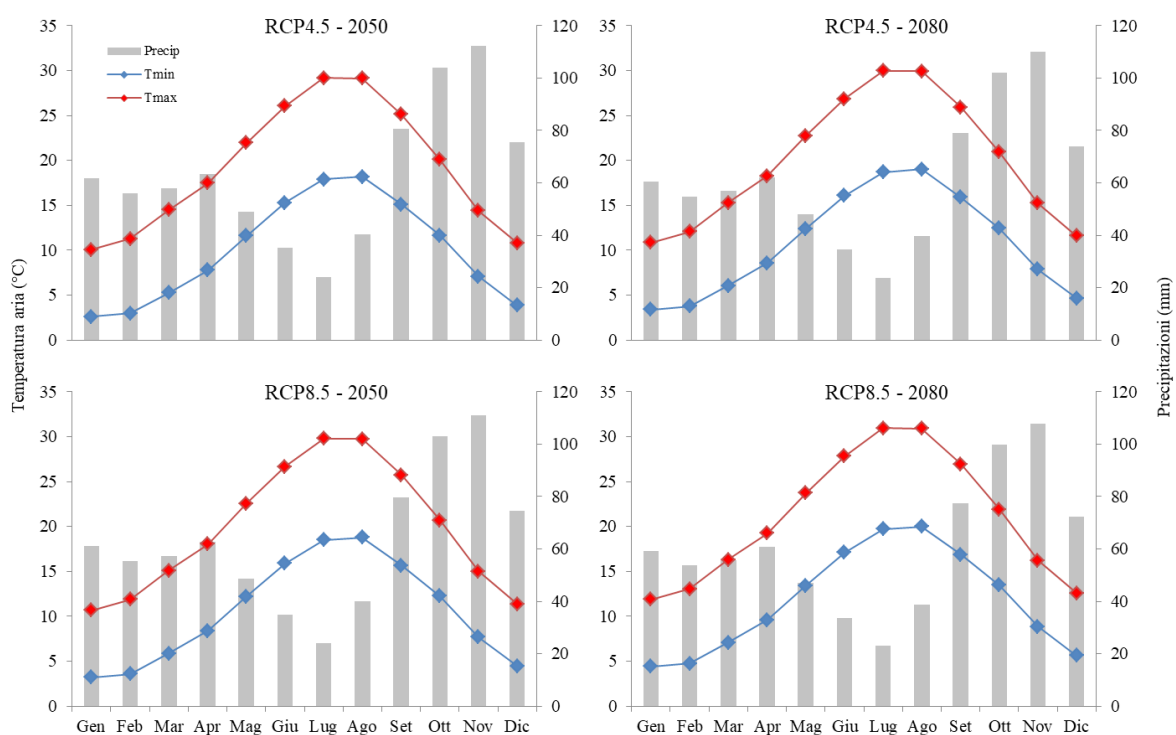


Figure 11 - Tendances mensuelles des températures maximales et minimales et des précipitations pour les scénarios climatiques obtenus en considérant une augmentation quotidienne de la température linéaire. Le graphique montre les tendances pour les RCP4.5 et RCP8.5 par rapport aux périodes 2050 et 2080

L'augmentation de la température linéaire avec les données obtenues par LARS-WE ver5 montre une tendance générale à l'augmentation de la température tout le long de l'année pour tous les scénarios sélectionnés et les périodes futures. L'augmentation de la température a été rendue sous forme de pourcentage montrant l'impact par rapport à la période actuelle. Comme prévu, une évolution prévoyant les conditions représentées en 2080 à l'aide du scénario RCP8.5 semble être celle qui a provoqué les conditions les plus extrêmes,

c'est-à-dire un climat caractérisé par une augmentation remarquable des températures minimale et maximale, en particulier pendant les mois les plus froids (décembre, janvier et février).

Mois	Ligne de base (1975-2017)	RCP45_L		RCP45_SV		RCP85_L
		2050	2080	2050	2080	2050
Jan	1.41	2.61	3.41	2.31	3.11	3.21
Fév	1.77	2.97	3.77	2.77	3.57	3.57
Mar	4.07	5.27	6.07	5.17	5.97	5.87
Avr	6.58	7.78	8.58	7.78	8.58	8.38
Mai	10.42	11.62	12.42	11.82	12.62	12.22
Juin	14.09	15.29	16.09	15.69	16.49	15.89
Juil	16.70	17.90	18.70	18.30	19.10	18.50
Aôut	17.00	18.20	19.00	18.40	19.20	18.80
Sep	13.88	15.08	15.88	15.08	15.88	15.68
Oct	10.45	11.65	12.45	11.55	12.35	12.25
Nov	5.87	7.07	7.87	6.87	7.67	7.67
Déc	2.65	3.85	4.65	3.55	4.35	4.45
Jan	8.87	10.07	10.87	9.77	10.57	10.67
Fév	10.07	11.27	12.07	11.07	11.87	11.87
Mar	13.31	14.51	15.31	14.41	15.21	15.11
Avr	16.26	17.46	18.26	17.46	18.26	18.06
Mai	20.74	21.94	22.74	22.14	22.94	22.54
Juin	24.84	26.04	26.84	26.44	27.24	26.64
Juil	27.97	29.17	29.97	29.57	30.37	29.77
Aôut	27.93	29.13	29.93	29.33	30.13	29.73
Sep	23.93	25.13	25.93	25.13	25.93	25.73
Oct	18.91	20.11	20.91	20.01	20.81	20.71
Nov	13.22	14.42	15.22	14.22	15.02	15.02
Déc	9.59	10.79	11.59	10.49	11.29	11.39

Tableau 4 - Variations mensuelles moyennes des températures minimale et maximale pour les scénarios (RCP45 et 8.5) et les périodes (2050 et 2080) choisis par rapport au scénario de référence (1975-2017) en utilisant à la fois l'analyse prenant en compte la variation climatique linéaire (L) mais aussi la variation saisonnière (SV).

Pour une analyse détaillée, les extrêmes thermiques ont été, par la suite, analysés, identifiés comme jours avec une température quotidienne minimale de $<0^{\circ}\text{C}$ et maximale de $>30^{\circ}\text{C}$. Par cette analyse, on a évalué les variations du nombre de jours qui présentent ces températures parmi la période actuelle considérée entre 1975 et 2017 et l'avenir (tableau 5).

		Ligne de base		RCP45-2050		RCP45-2080		RCP85-2050		
		Totale	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax
Année	Jours (n°)	15706	1420	632	892	1202	615	1697	680	1599
	Jours (%)	1	0.09	0.04	0.057	0.077	0.039	0.108	0.043	0.102
	Variation (%)	---	100%	100%	-36.67	92.50	-56.67	170.00	-52.22	155.00
Printemps	Jours (n°)	3913	8	68	2	153	1	236	1	213
	Jours(%)	100%	0.20	1.74	0.05	3.91	0.03	6.03	0.03	5.44
	Variation (%)	---	100%	100%	-75.00	125.00	-87.50	247.06	-87.50	213.24
Été	Jours (n°)	3956	---	551	---	1036	---	1444	---	1355
	Jours (%)	100%	---	13.93	---	26.19	---	36.50	---	34.25
	Variation (%)	---	100%	100%	---	88.02	---	162.07	---	145.92
Automne	Jours (n°)	3870	441	---	243	---	167	---	178	---
	Jours (%)	100%	11.40	---	6.28	---	4.32	---	4.60	---
	Variation (%)	---	100%	---	-44.90	---	-62.13	---	-59.64	---
Hiver	Jours (n°)	3967	996	---	626	---	434	---	484	---
	Jours(%)	100%	25.11	---	15.78	---	10.94	---	12.20	---
	Variation (%)	---	100%	---	-37.15	---	-56.43	---	-51.41	---

Tableau 5 - Variation des extrêmes de température minimale (<0°C, jours de gel, FD) et maximale (> 30°C) sur une base annuelle et saisonnière par rapport au nombre total (% de jours) et par rapport aux extrêmes de la période actuelle (base, 1975-2017) sur la base d'une analyse climatique linéaire (L) et des scénarios (RCP45 et 8.5) et des périodes (2050 et 2080) choisies.

En analysant le tableau 5, il apparaît qu'à l'approche de la fin du siècle et dans le scénario plus chaud (RCP8.5), on observe une diminution importante du nombre de jours avec des températures inférieures à 0°C et une augmentation constante du nombre de jours avec des températures supérieures à 30°C. Inversement, les températures maximales supérieures à 30°C qui, pour la période en cours, représentent 4% du total annuel (soit en moyenne 15 jours par an), devraient augmenter jusqu'à 14,8% (en moyenne environ 52 jours par an). Sur une base saisonnière, en ce qui concerne les jours de gel, il y a une diminution progressive pendant les périodes d'automne et d'hiver-printemps dans les deux RPC, avec des réductions proches de 90%, principalement pendant la période de printemps. En ce qui concerne les températures maximales > 30°C, une augmentation substantielle est observée à la fois en été et au printemps, avec des augmentations supérieures à 400%, en particulier au printemps.

3.4. Analyse climatique avec augmentation de température variable

L'analyse climatique avec une augmentation de température variable, en fonction de la saison (SV), fait référence à la génération de scénarios climatiques futurs qui prévoient une augmentation différente de la température au cours des différents mois de l'année. Les scénarios climatiques ont été générés en utilisant RCP4.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température de + 1,2°C et à + 2°C, respectivement, et RCP8.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température respectivement + 1,8°C et + 3°C (figure 12). L'augmentation de la température saisonnière avec les données obtenues par LARS-WE ver5 montre une tendance générale à la hausse de la température tout au long de l'année pour tous les scénarios sélectionnés et les périodes futures. Comme prévu, une évolution qui prévoit la situation en 2080, en utilisant le scénario RCP8.5, s'avère être celle qui cause les conditions les plus extrêmes. Contrairement aux graphiques représentant l'augmentation de la température linéaire, le schéma climatique prend une forme légèrement différente, avec un pic de la gaussienne plus prononcé en été que par rapport à des valeurs plus basses en hiver.

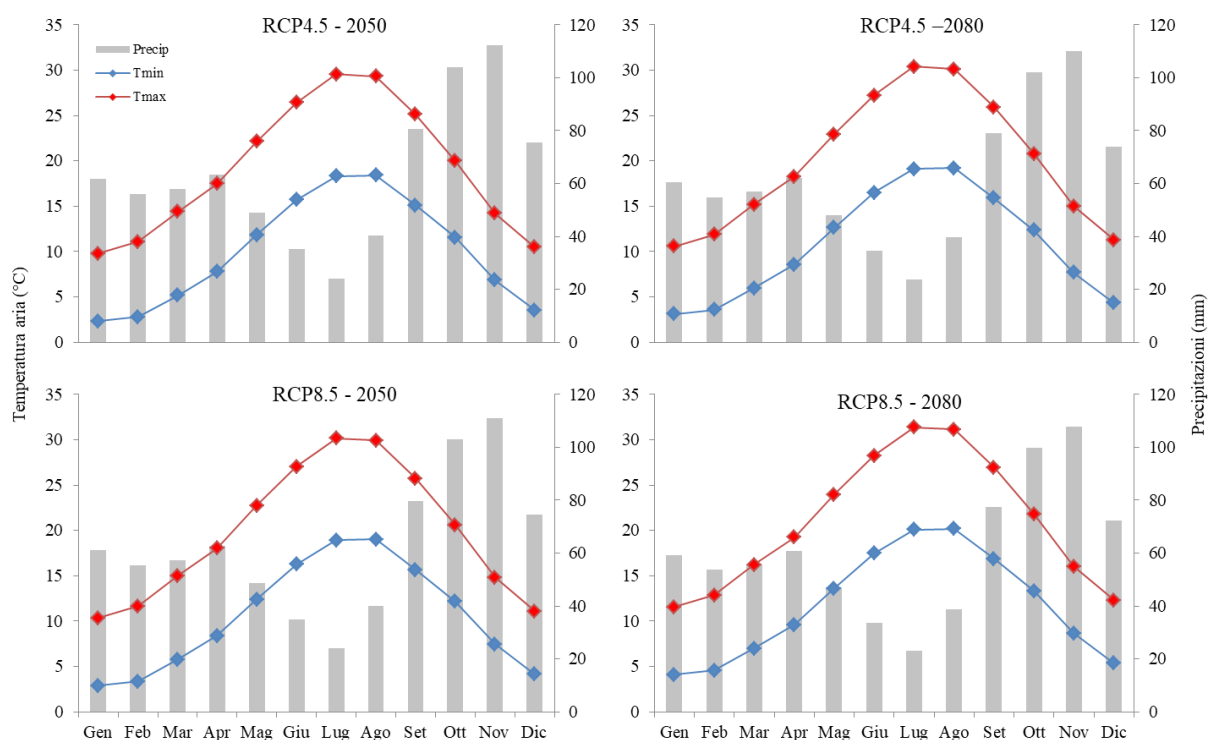


Figure 12 - Tendance mensuelle des températures maximales et minimales et des précipitations pour les scénarios climatiques obtenus en considérant une augmentation quotidienne de la température variable. Le graphique montre les tendances pour les RCP4.5 et RCP8.5 par rapport aux périodes 2050 et 2080

Mois	Ligne de base	RCP45_L	RCP85_L	Ligne de base	RCP45_L	RCP85_L
------	---------------	---------	---------	---------------	---------	---------

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

Tableau 6 - Variations mensuelles moyennes de la température minimale et maximale pour les scénarios (RCP45 et 8.5) et les périodes (2050 et 2080) choisies par rapport au scénario de référence (1975-2017) à l'aide de l'analyse de la variation saisonnière

Toujours dans le cas du tableau 6, il convient de noter que l'analyse climatique prenant en compte la variabilité saisonnière prévoit les conditions les plus extrêmes jusqu'en 2080 selon le scénario RCP8.5, avec un climat caractérisé par une augmentation moins marquée des températures minimales pendant les mois les plus froids (décembre, janvier et février), et une légère augmentation du maximum chez les plus chaudes par rapport à l'analyse climatique prenant en compte une variation linéaire des températures. Pour une analyse détaillée, les extrêmes thermiques ont ensuite été analysés, identifiés comme jours avec une température quotidienne minimale de <0°C et maximale de > 30°C. Par cette analyse, on a évalué les variations du nombre de jours avec de telles températures parmi la période actuelle considérée entre 1975 et 1717 et l'avenir (tableau 7).

		Ligne de base			RCP45-2050		RCP45-2080		RCP85-2050	
		Totale	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax
Année	Jours (n°)	15706	1420	632	988	1242	696	1697	753	1751
	Jours (%)	100%	0.09	0.04	0.063	0.079	0.044	0.108	0.048	0.111
	Variation (%)	---	100%	100%	-30.00	97.50	-51.11	170.00	-46.67	177.50
Printemps	Jours (n°)	3913	8	68	2	155	1	278	1	253
	Jours (%)	100%	0.20	1.74	0.05	3.96	0.03	7.10	0.03	6.47
	Variation (%)	---	100%	100%	-75.00	127.94	-87.50	308.82	-87.50	272.06
Eté	Jours (n°)	3956	---	551	---	1078	---	1584	---	1481
	Jours (%)	100%	---	13.93	---	27.25	---	40.04	---	37.44
	Variation (%)	---	100%	100%	---	95.64	---	187.48	---	168.78
Automne	Jours (n°)	3870	422	---	284	---	186	---	213	---
	Jours (%)	100%	10.90	---	7.34	---	4.81	---	5.50	---
	Variation (%)	---	100%	---	-32.70	---	-55.92	---	-49.53	---
Hiver	Jours (n°)	3967	970	---	686	---	490	---	530	---
	Jours (%)	100%	24.45	---	17.29	---	12.35	---	13.36	---
	Variation (%)	---	100%	---	-29.28	---	-49.48	---	-45.36	---

Tableau 7 - Variation des extrêmes de température minimale (<0°C, jours de gel, FD) et maximale (> 30°C) sur une base annuelle et saisonnière par rapport au nombre total (% de jours) et par rapport aux extrêmes pour la période en cours (base, 1975-2017) sur la base d'une analyse climatique saisonnière (SV) et de scénarios (RCP45 et 8.5) et de périodes sélectionnées (2050 et 2080).

Si on analyse en détail le tableau 7, où les extrêmes thermiques ont été rapportés, (identifiés comme températures minimales quotidiennes <0°C et maximales > 30°C), il apparaît qu'en approchant la fin du siècle et sous le scénario le plus chaud, on observe une diminution importante du nombre de jours avec des températures inférieures à 0°C et une augmentation significative de jours avec des températures supérieures à 30°C. Les jours avec des températures maximales supérieures à 30°C, qui pour la période en cours représentent 4% du total sur la période 1975-2017, devraient augmenter jusqu'à 15,7%. Sur une base saisonnière, en ce qui concerne les jours de gel, il y a une diminution progressive pendant les périodes d'automne et d'hiver-printemps dans les deux RPC, avec des réductions proches de 90%, principalement pendant la période de printemps. En ce qui concerne les températures maximales > 30°C, une augmentation substantielle est observée à la fois en été et au printemps, avec des augmentations supérieures à 500%, en particulier au printemps.

4. Conclusions

L'analyse climatique pour la ville de Livourne a mis en évidence le climat actuel de la ville, en tant que valeurs moyennes et extrêmes et les changements climatiques observés au cours des dernières décennies. Les valeurs moyennes ont fortement augmenté au cours des dernières décennies. Cela montre que le climat change constamment et rapidement et que ces changements pourraient avoir des répercussions dans de nombreux domaines. En outre, les projections climatiques futures pour la ville de Livourne ont mis en évidence une possible augmentation des températures qui, conjuguée à la survenue d'événements extrêmes de températures et de précipitations, suggère que l'ensemble de la zone étudiée pourrait être confrontée, en cas d'absence totale de mesures d'atténuation, à des problèmes concernant divers secteurs tels que les secteurs de l'agriculture, de la construction, des transports, des infrastructures et de l'énergie. Au cas où il serait impossible de limiter les émissions de gaz à effet de serre et donc ce chauffage dans une certaine limite, avec une tendance au scénario climatique "pire" (RCP8.5), l'analyse des indices climatiques extrêmes a suggéré une augmentation probable du risque aussi pour la santé. D'une manière générale, les changements climatiques observés et notamment ceux prévus dans les décennies à venir pourraient avoir des répercussions importantes sur l'économie de la ville, avec des politiques économiques et sociales qui devront être de plus en plus développées et basées à la fois sur la prévention et la gestion du risque climatique dans tous les différents domaines d'impact. Dans ce contexte, il sera nécessaire de fournir des plans d'adaptation capables de réduire l'impact de l'augmentation attendue des températures et des phénomènes extrêmes, par exemple l'augmentation de la végétation urbaine, la modification des surfaces réfléchissantes (changement d'albédo de surface) et des stratégies spécifiques de gestion pour le secteur agricole.

Glossaire

Albédo

Pouvoir réfléchissant d'une surface. L'albédo est la fraction du rayonnement incident qui se reflète dans toutes les directions. C'est le rapport, exprimé en cents, entre l'énergie réfléchie ou diffusée par un corps et l'énergie incidente.

Adaptation

Processus d'adaptation au climat actuel ou attendu et à ses effets. L'adaptation cherche à limiter les dommages et, en particulier dans les systèmes naturels, elle peut être facilitée par le climat attendu et ses effets par l'intervention humaine.

Anomalie

Écart d'une variable par rapport à sa valeur moyenne sur une période de référence.

Atmosphère

Une masse de gaz qui entoure le globe terrestre jusqu'à environ 700 km d'altitude. Dans la troposphère terrestre (la partie la plus basse, 10-12 km d'épaisseur), la composition chimique est pratiquement constante : 78% d'azote, 21% d'oxygène et 1% d'autres gaz et vapeur d'eau. On la définit standard ou type lorsque on se réfère à des conditions au niveau de la mer de 15°C, une température et une pression de 760 mm de mercure (ou 1013 hPa).

Bioclimatologie, Biométéorologie

Étude de l'influence des facteurs climatiques et météorologiques sur la vie et le développement des êtres vivants.

Biosphère

Partie de la surface et de l'atmosphère terrestre où se manifeste la vie, qu'elle soit animale ou végétale.

Changement climatique

Changement dans l'état du climat qui persiste pendant une période prolongée, identifiable par des changements dans la moyenne et / ou les extrêmes de ses propriétés. Cela peut être dû à des processus naturels ou à des agents de forçage externes. Il a été défini par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) : "Un changement climatique, directement ou indirectement imputable à l'activité humaine, qui modifie la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoute à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes comparables".

Climat

Description statistique de la variabilité moyenne et extrême des principales variables météorologiques sur une période d'au moins 30 ans. Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM - Organisation météorologique mondiale), les grandeurs significatives sont dans la plupart des cas des paramètres tels que la température, les précipitations et le vent.

Confiance

La confiance est l'expression qualitative de la validité d'un résultat. La validité d'un résultat dépend également du type, de la quantité et de la cohérence des preuves, ainsi que du degré de concordance.

Écosystème

Unité fonctionnelle composée d'organismes vivants, de leur environnement non vivant et d'interactions à l'intérieur et entre eux. Les écosystèmes sont des systèmes dynamiques, soumis à l'évolution et dont l'échelle peut varier de très petite à l'ensemble de la biosphère.

Effet de serre

La basse atmosphère (troposphère) se comporte comme perméable aux rayons ultraviolets et visibles, mais réfléchissant les infrarouges émis par le sol.

Émissions anthropiques

Émissions de gaz à effet de serre, de précurseurs de gaz à effet de serre et d'aérosols causés par les activités humaines. Ces activités incluent l'utilisation de combustibles fossiles, la déforestation, les changements d'utilisation des terres, l'élevage, l'utilisation d'engrais, la gestion des déchets et les processus industriels.

Excursion thermique

Différence, sur une période de 24 heures, d'un mois, d'une saison ou d'un an, entre les températures les plus élevées et les plus basses.

Évaporation évapotranspiration

Transformation d'un liquide en vapeur sans le faire bouillir. La vapeur d'eau atmosphérique dérive de l'évaporation de surfaces liquides (surtout des océans), de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes. La contribution totale constitue l'évapotranspiration. C'est un phénomène fondamental en météorologie, car il absorbe la chaleur (environ 600 cal / g) de l'environnement et agit donc sur le climat ; en plus il diminue les réserves d'humidité du sol, causant des conséquences sur les débits des cours d'eau, la vie des plantes etc.

Événements météorologiques extrêmes

Événement non habituel pour un lieu déterminé ou une période de l'année. Il est extrême lorsqu'il est placé statistiquement au dixième ou au quatre-vingt-dixième centile d'une fonction de densité de probabilité estimée à partir d'observations. Par définition, les caractéristiques de ce qu'on appelle les conditions météorologiques extrêmes peuvent varier d'un endroit à l'autre, dans un sens absolu. Lorsqu'un régime météorologique extrême persiste pendant un certain temps, il peut être qualifié d'événement climatique extrême (par exemple, des périodes de sécheresse prolongée comme effet combiné de températures élevées et de l'absence de précipitations).

Phénologie

Etude de l'influence des climats sur la foliation et de la floraison des plantes en relation avec la période où elles se produisent et leur durée.

Forçages climatiques

Substances provenant de processus naturels et anthropiques qui modifient le bilan énergétique de la Terre.

Impacts

Effets sur les systèmes naturels et humains dus à des phénomènes météorologiques, en particulier extrêmes, qui sont très éloignés du régime climatique à long terme d'une spécifique région. Les impacts font généralement référence aux effets sur les personnes, le logement, la santé, les écosystèmes, les biens et ressources économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services environnementaux) et les infrastructures, dus à l'interaction du changement climatique ou des phénomènes météorologiques dangereux survenant au cours d'une spécifique période de temps et la vulnérabilité d'une société ou d'un système exposé aux changements climatiques. Nous appelons également impacts les conséquences et les résultats.

GIEC

Acronyme de Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. C'est l'organisation qui, à partir de 1988, évalue, sur une base scientifique, technique et socio-économique, les changements climatiques en cours, leurs conséquences éventuelles et la responsabilité éventuelle de l'homme et propose des solutions possibles pour la réduction de ces changements. Son siège est à Genève et son activité principale est la publication de rapports périodiques.

Microclimat

Ensemble de conditions d'humidité, de ventilation, de pression et de température concernant un espace limité, isolé de l'environnement.

Vague de chaleur

Période d'au moins 6-7 jours consécutifs caractérisée par des températures généralement bien supérieures à la moyenne à long terme.

Projection climatique

Réponse simulée du système climatique à un scénario de concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols obtenu à l'aide de modèles climatiques. Les projections climatiques dépendent du scénario radiatif d'émission /concentration / forçage utilisé, fondé sur des hypothèses concernant les évolutions socio-économiques et technologiques futures, ainsi que sur toute politique susceptible d'être mise en œuvre pour faire face à ces problèmes.

Scénario climatique

Hypothèse de climat futur basée sur un ensemble cohérent de relations climatologiques afin d'étudier les conséquences potentielles du changement climatique. Ce scénario est généralement utilisé comme entrée pour des modèles de simulation capables d'évaluer de différentes typologies d'impacts futurs possibles.

Sécheresse

Période de temps sec assez prolongé à même de causer des problèmes hydriques ayant des répercussions sur de différents secteurs (par exemple, l'agriculture).

Vapeur

Etat aériforme d'une substance à une température inférieure à sa température critique. La vapeur, contrairement au gaz, est réductible à l'état liquide uniquement par compression.

Variable

Type ou caractéristique d'un temps météorologique sujet à des changements importants au cours d'une période donnée.

Variabilité climatique

Variations de l'état moyen et des extrêmes du climat sur toutes les échelles spatiales et temporelles en plus de celle de chaque événement météorologique.

Vulnérabilité

Propension ou prédisposition à être défavorablement influencée par des événements d'origines différents. La plus grande capacité d'adaptation et de résilience d'un système par rapport à un autre contribue à réduire le risque de vulnérabilité d'un système.

Zone climatologique

Région avec son propre climat caractéristique.

Bibliographie

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

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

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

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

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

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

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