

Profil climatique local de la Municipalité de Rosignano Marittimo

Municipalité de Rosignano Marittimo

Département d'architecture de l'Université de Florence

*Département d'ingénierie de l'énergie, des systèmes, du territoire et de la
construction de l'Université de Pise*

Index

1.	Introduction au changement climatique	5
1.1.	Changement climatique et attribution	5
1.2.	Modèles climatiques	9
	Régionalisation	11
	Scénarios d'émission	12
2.	Variabilité climatique à grande échelle : analyse historique et projections futures ...	14
2.1.	Variabilité climatique régionale	15
	Températures moyennes : analyse historique	17
	Températures extrêmes : analyse historique	18
	Précipitations moyennes : analyse historique	20
	Précipitations extrêmes : analyse historique	22
3.	La variabilité climatique sur le territoire de Rosignano Marittimo : analyse historique et projections	25
3.1.	Données pluviométriques et thermomètres	25
3.2.1.	Qualité des données	25
3.2.2.	Sélection et analyse des données	26
	Série pluviométriques	27
	Série thermométrique	27
3.2.3.	Tests de Mann-Kendall	29
3.2.4.	Régression des données	30
3.2.	Précipitations cumulées moyennes	32
3.3.1.	Comparaison des stations	33
3.3.	Précipitations extrêmes	35
	Nombre de jours sans pluie	35

Nombre de jours consécutifs sans pluie (CDD).....	36
Nombre de jours de pluie	36
Nombre de jours de pluie consécutifs (CWD)	37
Intensité moyenne des précipitations pendant les jours de pluie (SDII).....	37
Nombre de jours avec de fortes précipitations (P90, P95, P99)	37
Précipitations cumulées sur le 95e centile (R95p).....	38
Jours avec précipitations supérieures ou égales à 10 mm (R10)	38
Jours avec précipitations supérieures ou égales à 20 mm (R20)	39
Jours avec précipitations supérieures ou égales à 50 mm (R50)	39
3.4.1. Précipitations maximales quotidiennes	40
3.5. Précipitation d'intensité maximale.....	43
Méthode de la moyenne mobile	48
3.5.1. Analyse statistique de Gumbel	48
Méthodologie	48
Résultats.....	50
3.6. Températures moyennes.....	55
3.7. Conclusions : projections futures.....	57
Températures moyennes.....	59
Précipitations moyennes.....	60
Nombre de jours consécutifs sans pluie (CDD).....	62
Précipitation d'intensité maximale	64
Niveau de la mer.....	65
4. Annexe.....	67
4.5. Analyse de la température.....	67
4.6. Analyse des précipitations	77
1. La vulnérabilité des établissements urbains.....	93

1.1. Indices de bien-être thermoclimatique.....	93
1.2. Vulnérabilité à l'augmentation de la température : un modèle d'évaluation d'échelle détaillé.....	98
1.2.1. Matériaux.....	99
2.2.1.1. Zone d'étude.....	99
2.2.1.2. Le système d'information territoriale	100
1.2.2. Méthode et résultats.	104
2.2.2.1 Températures actuelles	104
2.2.2.2 Températures futures	119
2.2.2.3. Discussion des résultats.....	130

Partie I. Profil climatique local

1. Introduction au changement climatique

1.1. Changement climatique et attribution

Le changement climatique est défini comme une modification des valeurs moyennes et de la variabilité des principales caractéristiques de l'état du climat qui persiste sur une période suffisamment longue, généralement supérieure à quelques décennies (*IPCC, Quatrième rapport d'évaluation, 2007*).

Les nombreuses études réalisées dans ce domaine au cours des dernières années ont permis d'accroître sensiblement la connaissance de la dynamique des phénomènes climatiques les plus importants, des facteurs de détermination qui s'y rapportent et du degré d'incertitude ou de fiabilité des preuves empiriques qui ont été mises en évidence. Le sujet en question est extrêmement complexe en raison de la multiplicité des facteurs naturels et anthropiques à prendre en considération et aussi en raison de la variabilité du comportement avec lequel les facteurs individuels et leurs interactions se produisent.

Le terme attribution désigne le processus d'évaluation de la contribution de divers facteurs de causalité par rapport à un changement ou à un événement donné, avec l'attribution d'un niveau de confiance statistique. Les facteurs de causalité qui affectent le système climatique peuvent être des facteurs de forçage externes (naturels ou anthropiques) ou des variations des mêmes composantes internes du système. Aujourd'hui, il est généralement possible d'analyser des données climatiques provenant de périodes passées, même très éloignées, afin d'obtenir des informations quantitatives sur la réponse du système par rapport au forçage externe. Les changements paléoclimatiques mettent en évidence les transitions entre différents états climatiques et comprennent des événements brusques ; leur étude est utile pour l'estimation de la variabilité sur une très large échelle de temps, ce qui, comparé à celui des changements récents, conduit à l'évaluation de leur caractère naturel.

Parmi les différents forçages externes, on trouve l'énergie totale reçue du soleil, mesurée par l'Irradiance Solaire Totale (IST), qui peut varier sur une large gamme d'échelles de temps, des millénaires aux mois, bien que les variations au cours des cent quarante dernières années aient été relativement faibles. Les changements de l'irradiation solaire sont une cause importante de la variabilité du climat, au même titre que les émissions volcaniques et les facteurs anthropiques. Par conséquent, ils peuvent faciliter l'explication du changement de la température à la surface de la Terre pendant la période instrumentale et le dernier millénaire. L'irradiance est mesurée directement par des instruments satellitaires depuis 1978, alors qu'auparavant elle était estimée par le nombre de taches

solaires ; elle varie suivant une tendance cyclique de onze ans liée aux taches solaires et au cours des derniers cycles elle a contribué dans la mesure maximale de 0,1°C aux variations de température de la surface de la Terre. Une tendance de croissance à long terme de l'activité solaire estimée au début du 20e siècle peut avoir contribué de façon observable au réchauffement de la surface de la Terre observé à cette époque, ainsi que des éléments de variabilité interne, de croissance des gaz à effet de serre et de ralentissement de l'activité volcanique. Cependant, l'irradiance ne peut expliquer l'augmentation actuelle de la température depuis la fin des années 1970, car l'activité solaire a connu une légère tendance à la baisse de 1986 à 2008.

Les éruptions volcaniques contribuent au changement de température de la surface globale de la Terre par des injections épisodiques d'aérosols dans l'atmosphère, qui refroidissent la surface. Les éruptions de très grands volcans peuvent refroidir la surface d'environ 0,1 à 0,3 °C pendant trois ans.

Les processus qui influencent le climat présentent, en outre, une variabilité interne naturelle considérable : même en l'absence de forçage externe, des variations périodiques et aléatoires peuvent être observées sur différents intervalles spatio-temporels. La principale composante parmi celles de la variabilité interne est El Niño-Oscillation Meridionale (ENSO-El Niño-Oscillation Australe), un phénomène climatique périodique qui provoque un fort réchauffement des eaux de l'océan Pacifique au cours des mois de décembre et janvier, en moyenne tous les cinq ans, avec une période statistiquement variable entre trois et sept ans.

Certaines dynamiques climatiques observées au cours des dernières décennies renforcent la conviction que l'action humaine a joué un rôle important dans le changement de certaines propriétés climatiques. L'intensification de l'effet de serre est le phénomène le plus pertinent dans ce domaine. L'effet de serre est un phénomène naturel qui s'inscrit dans les mécanismes complexes de régulation de l'équilibre thermique de notre planète, qui trouve son origine dans l'action de certains gaz (*gaz à effet de serre*, dont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone et le méthane) présents dans l'atmosphère, qui permettent l'entrée du rayonnement solaire, tandis qu'ils entravent la sortie du rayonnement infrarouge réémis par la surface de la Terre, avec pour conséquence une augmentation de la température et une diminution de la plage de température, car la chaleur absorbée est libérée plus lentement vers l'extérieur. L'activité humaine, en particulier l'utilisation de combustibles fossiles pour la production d'énergie, a conduit à une augmentation marquée des rejets de CO₂ et d'autres gaz dans l'atmosphère responsables de l'augmentation de l'effet de serre en un laps de temps relativement court. La concentration annuelle moyenne de CO₂, le plus important gaz à effet de serre anthropique, est d'environ 400 ppm, soit le niveau le plus élevé des 800 000 dernières années et environ 40 % de plus que les niveaux préindustriels du milieu du 18ème siècle. Depuis le début de l'ère industrielle au XIXème siècle, l'effet

des activités humaines sur le climat a dépassé les effets des changements dans les processus naturels, évalués à des échelles de temps comparables.

Il convient de souligner que même si les émissions anthropiques de gaz à effet de serre devaient tomber à zéro dans un avenir proche, le temps de séjour de ces gaz dans l'atmosphère et la dynamique du système climatique entraîneraient de nouveaux changements climatiques pendant de nombreuses décennies, avec des hausses de température, des changements dans les précipitations, une augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur et des phénomènes extrêmes en général, et une élévation du niveau de la mer.

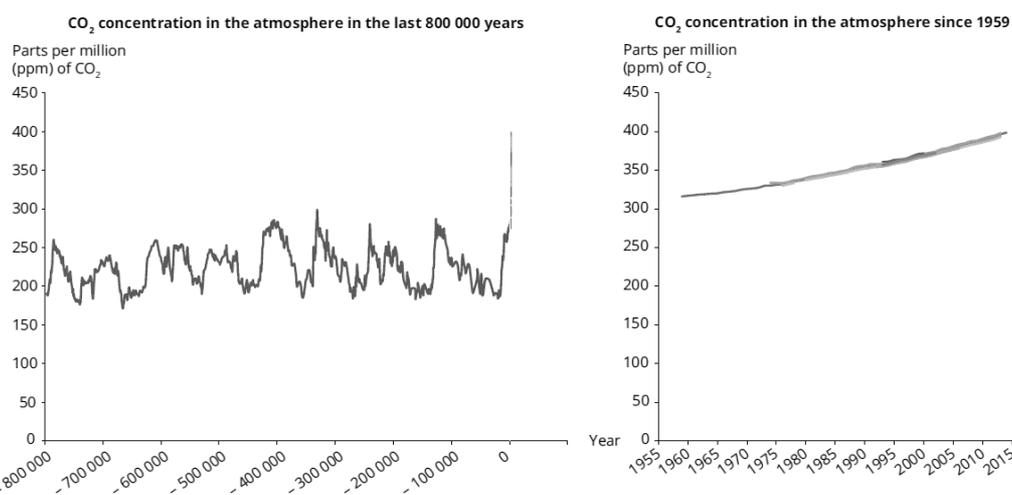


Figure 1.1 - Concentration atmosphérique en CO₂ depuis 800 000 ans (à partir de l'analyse des sédiments) et depuis 1959 (mesure instrumentale). (Source : Changement climatique, incidences et vulnérabilité en Europe 2016 - Rapport EEA 1/2017)

Dans le cinquième rapport d'évaluation du IPCC, il est indiqué que la variabilité de la température de la surface de la Terre entre 1870 et 2010 reflète les influences combinées de facteurs naturels (solaires, volcaniques, intérieurs) superposés à la tendance au réchauffement due à des facteurs anthropiques. Avant 1870, lorsque les émissions anthropiques de gaz à effet de serre étaient plus faibles, les changements dans les activités solaires et volcaniques jouaient un rôle plus important dans les variations de température, bien que la contribution spécifique de ces facteurs pris individuellement soit incertaine. L'activité solaire minimale qui dure plusieurs décennies est souvent associée à des conditions de temps froid ; cependant, ces périodes sont souvent caractérisées par des éruptions volcaniques, ce qui rend difficile la quantification des contributions individuelles.

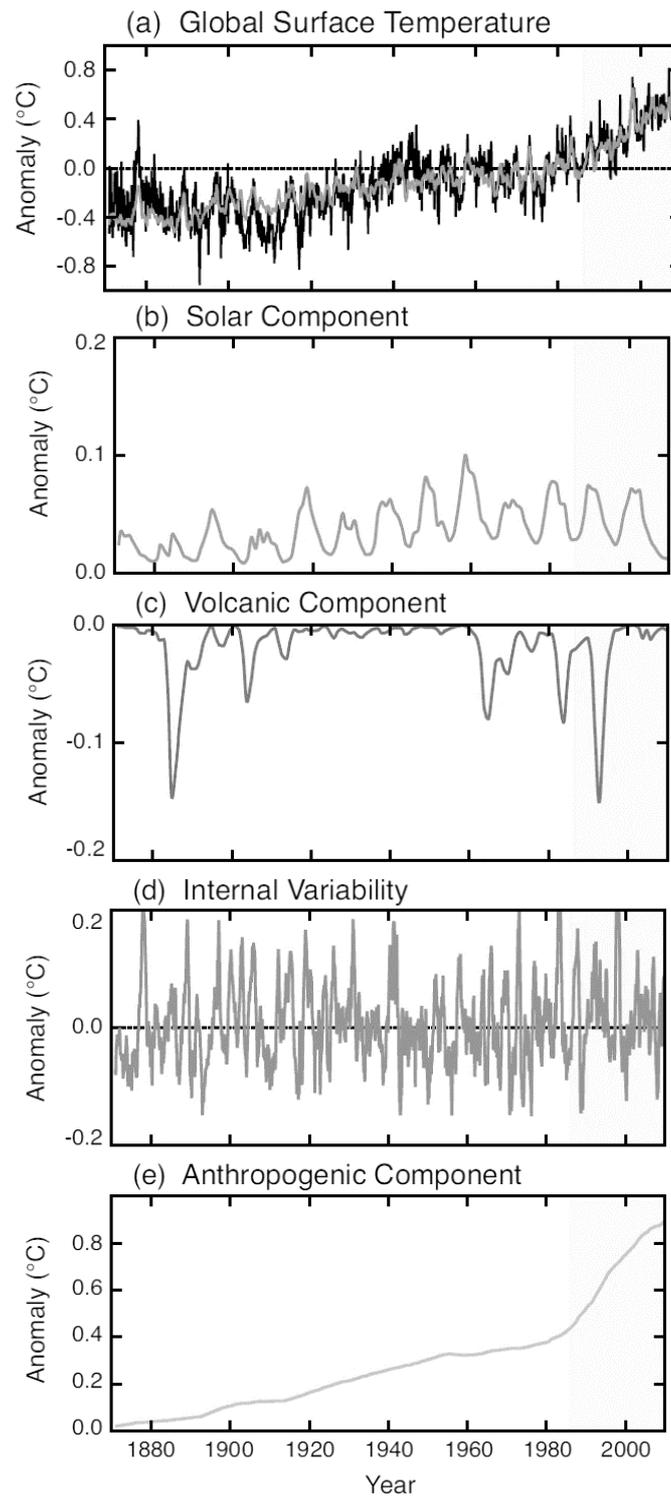


Figure 1.2 - Anomalie de température globale (a) de 1870 à 2010 (vs 1961-1990) observée (en noir) et estimée par le modèle comme la somme des réponses estimées des facteurs d'influence (en gris). Estimation des réponses en température des facteurs d'influence : naturels (solaire (b), volcanique (c), interne (d)) et anthropiques (e). (Source : AR5 IPCC, 2013)

Enfin, il existe un niveau de confiance élevé que les changements observés dans de nombreuses variables climatiques, y compris les événements extrêmes, peuvent être attribués à des causes anthropiques (*Hegerl et Zwiers, 2011 ; Bindoff et al., 2013 ; Trenberth et al., 2015 ; Stott et al., 2016 ; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016*). Le cinquième rapport d'évaluation du IPCC conclut qu' « il est très probable que l'influence humaine a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du 20ème siècle ».

1.2. Modèles climatiques

Les modèles climatiques sont l'outil le plus avancé dont on dispose pour modéliser le système climatique dans son état actuel, pour simuler les réactions aux changements, pour faire des prévisions à court terme à l'échelle saisonnière ou décennale et pour supposer des projections climatiques à long terme. Le système climatique est schématisé en sous-systèmes fondamentaux (atmosphère, océans, surface terrestre, biosphère, cryosphère...), qui interagissent les uns avec les autres et dont les comportements sont connus ; cependant, la complexité des interactions, caractérisée par une forte non-linéarité et par l'induction de rétroactions ou feedbacks, ne permet pas d'étudier expérimentalement l'interaction mutuelle. Par conséquent, la compréhension du climat ne peut se faire par l'analyse expérimentale et les modèles climatiques représentent donc, avec l'utilisation couplée de superordinateurs, un « laboratoire virtuel » dans lequel on peut simuler, et combiner, les différents processus qui conditionnent le système climatique dans son ensemble. Ce système, décrit par le modèle, répond aux forçages externes, d'origine naturelle ou anthropique, par une modification de son comportement détectable par les variables climatiques. La validation des modèles se fait par des simulations de périodes historiques passées et la comparaison ultérieure des résultats avec les données réellement mesurées.

Afin de mieux comprendre l'utilisation et le but des divers types de modèles climatiques, il convient d'expliquer la différence entre les concepts de prévision et de projection climatiques. Une projection climatique représente une simulation climatique qui s'étend sur une période future, basée sur un scénario de forces externes futures possibles (*scénario de forçage*) à imposer au modèle comme condition limite. Le terme de prévision climatique, par contre, indique un énoncé concernant l'évolution future de certains aspects du système climatique qui tient compte des forces externes et internes. Les prévisions climatiques ne visent pas à prévoir la performance réelle quotidienne du système, mais plutôt l'évolution de certaines variables statistiques telles que les moyennes saisonnières, annuelles, décennales ou les extrêmes, qu'elles concernent une zone, une région ou

qu'elles soient évaluées globalement. Les prévisions sont souvent le résultat d'élaborations basées sur des modèles identiques ou similaires à ceux utilisés pour produire des simulations et des projections climatiques. Par exemple, une prévision sur dix ans combine des aspects liés à l'imposition à la fois des conditions initiales observées et des scénarios futurs possibles, comme l'illustre la figure. À court terme, l'évolution temporelle est davantage conditionnée par les conditions initiales, tandis qu'à long terme, l'influence de ces conditions diminue et augmente celle du scénario imposé. Les prévisions climatiques peuvent également être obtenues par l'utilisation de méthodes statistiques qui mettent en relation les conditions présentes et futures en utilisant les relations dérivées de l'étude du comportement passé.

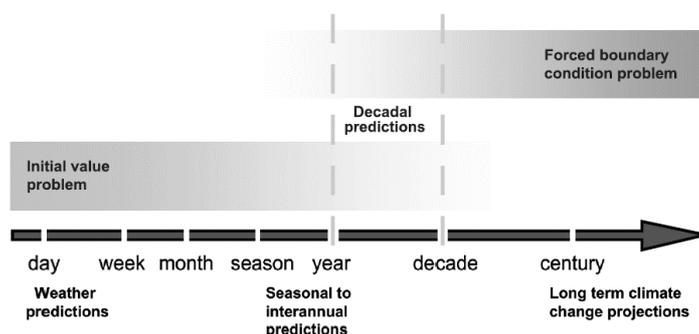


Figure 1.3 - Schéma conceptuel des sorties du modèle temporel (Source : AR5 IPCC, 2013)

Les modèles diffèrent par leur complexité, le nombre de processus simulés et l'échelle à laquelle ils fonctionnent. Les modèles de *circulation générale atmosphère-océan (AOGCM)* visent à comprendre la dynamique des composantes physiques du système (atmosphère, océans, surface terrestre) et à élaborer des projections futures ; ce sont des modèles largement utilisés, notamment pour les prévisions saisonnières à l'échelle de dix ans et pour les études axées sur une région particulière. Les modèles du *système terrestre (ESM)* représentent une évolution et une expansion des précédents, y compris la représentation de nouveaux processus tels que le cycle du carbone et de l'ozone, bien qu'ils fonctionnent souvent à une résolution plus faible. Ces modèles fournissent les outils les plus complets pour effectuer des simulations à long terme passées et futures en réponse à des forces externes pour lesquelles les processus de rétroaction jouent un rôle important.

En raison des différences entre les modèles en ce qui concerne les méthodes numériques, la description des processus physiques et la caractérisation de la variabilité climatique, les résultats des simulations montrent des écarts par rapport aux données observées et différents modèles produisent des projections futures différentes à partir du même scénario. Néanmoins, la communauté scientifique est convaincue que les modèles fournissent des estimations quantitatives plausibles du changement

climatique futur, car ils sont fondés sur des lois physiques fondamentales et sont capables de reproduire les principales propriétés du changement climatique observé.

Régionalisation

Bien que les modèles globaux soient basés sur des principes physiques bien définis et soient capables de reproduire les caractéristiques moyennes observées du climat récent et passé, la faible résolution spatiale de leur sortie, entre 250 et 600 km environ, rend leur utilisation mal adaptée aux besoins des utilisateurs finaux, qui ont besoin d'une évaluation minutieuse des impacts à l'échelle régionale ou locale. En dessous de 200 km, les modèles globaux ne sont pas en mesure de fournir des informations fiables pour plusieurs variables nécessaires, par exemple, à une modélisation correcte des processus hydrogéologiques.

La simple interpolation linéaire des résultats à l'échelle mondiale n'est pas une solution possible au problème, car on sait que les variations climatiques à grande échelle se déclinent en variations climatiques locales dans un cadre complexe et très dépendant des caractéristiques géographiques locales. Ces caractéristiques comprennent non seulement l'altitude et la distance de la mer ou des lacs, mais aussi leur géométrie par rapport à la circulation à grande échelle, qui peut ou non favoriser l'amplification des effets locaux, surtout dans une région comme l'Italie caractérisée par une forte complexité géographique.

La réduction d'échelle ou régionalisation est l'outil permettant d'augmenter la résolution spatiale des modèles globaux et de mieux représenter les phénomènes à l'échelle régionale et locale ; elle peut être réalisée par deux méthodes différentes : dynamique et statistique.

La réduction d'échelle dynamique consiste à utiliser un modèle RCM (*modèle climatique régional*) qui, en se greffant sur un modèle GCM à partir duquel les conditions initiales et limites sont acquises, produit des projections climatiques sur une zone limitée (généralement de l'ordre de 5 000 x 5 000 km²) avec une résolution spatiale plus élevée (généralement de l'ordre de 10 à 50 km). Cela permet d'assurer une représentation plus détaillée des caractéristiques géographiques et des processus physiques qui influencent le climat dans le domaine d'intérêt. Au cours de la dernière décennie, plusieurs projets internationaux ont utilisé des modèles de RCM pour générer des projections régionales du climat futur.

En se basant sur des lois physiques, la réduction d'échelle dynamique est capable de fournir une bonne réponse au réchauffement climatique et à l'augmentation prévue de la concentration de gaz à effet de serre dans le futur. D'autre part, les simulations utilisant des modèles régionaux peuvent prendre beaucoup de temps et de ressources et, en tout état de cause, ne pas être exemptes d'erreurs

systematiques susceptibles de limiter leur utilisation. De plus, bien que beaucoup mieux que les modèles globaux, la résolution spatiale peut encore être insuffisante lorsque des informations jusqu'au détail d'un point de station sont nécessaires, comme c'est souvent le cas pour les précipitations.

La réduction d'échelle statistique, par contre, représente une approche alternative ou complémentaire pour obtenir des simulations à l'échelle locale. L'idée de base est d'identifier, pour le présent et le passé, des relations empiriques-statistiques robustes entre les variables d'échelle large (prédicteurs) simulées par un modèle global ou régional et les variables d'échelle locale observées (prédicteurs) d'intérêt, puis d'appliquer ces relations aux simulations futures. L'avantage de la réduction d'échelle statistique par rapport à l'augmentation d'échelle dynamique est la possibilité d'utiliser et d'obtenir des informations sur un seul point de station et de ne pas être coûteux en termes de calcul. La principale limite est plutôt de supposer, loin d'être considéré comme acquis, que les relations empiriques-statistiques identifiées sont également valables pour le climat futur.

Des relations empiriques-statistiques entre les champs simulés et les observations peuvent également être définies pour corriger les variables d'intérêt directement simulées par les modèles mondiaux ou régionaux. Pour ce type de méthodes statistiques, on utilise le terme de correction de biais, ou MOS (Model Output Statistics). Les corrections apportées concernent les distorsions des modèles régionaux par rapport à la climatologie observée. En ce sens, le MOS peut être compris comme une méthode de réduction d'échelle à utiliser non pas comme une alternative à la réduction d'échelle dynamique, mais comme un outil capable de « raffiner » les simulations de modèles régionaux.

Les deux méthodes mentionnées ci-dessus présentent donc des avantages et des inconvénients : les méthodes dynamiques sont basées sur l'application de lois physiques robustes, mais elles nécessitent un coût élevé en termes de temps de calcul ; les méthodes statistiques, en revanche, sont très économiques en termes de temps de calcul, mais elles nécessitent la disponibilité de longues séries temporelles observées de bonne qualité sur des stations représentatives du climat local et une bonne connaissance de la dynamique du climat local. De plus, comme les modèles statistiques sont basés sur des relations dérivées de séries historiques, ils peuvent ne pas être en mesure de reproduire des relations non publiées dans l'histoire observée, mais ils peuvent se produire dans une condition de changement climatique.

Scénarios d'émission

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC) analyse quatre scénarios futurs possibles qui dépendent des concentrations futures de gaz à effet de serre et donc, dans une large mesure, des décisions gouvernementales sur les politiques de réduction des émissions. Ces

scénarios, qui forment la base des projections du *cinquième rapport d'évaluation* et sont connus sous le nom de RCP *voies de concentration représentatives* (sont appelés :

- RCP 2.6 - scénario d'atténuation (très forte réduction des émissions) : il suppose de fortes stratégies d'atténuation, grâce auxquelles les émissions de gaz à effet de serre restent constantes jusqu'en 2020 puis commencent à diminuer, se rapprochant de zéro vers 2080 ;
- RPC 4.5 - scénario de stabilisation (réduction substantielle) ; les émissions augmentent légèrement jusqu'en 2040, puis diminuent ;
- PCR 6.0 - scénario de stabilisation (réduction légère) ; les émissions augmentent jusqu'en 2060 jusqu'à environ 75 % de la valeur actuelle, puis diminuent jusqu'à environ 25 % ;
- PCR 8.5 - scénario de fortes émissions (« business-as-usual ») : il n'envisage aucune politique de changement particulière, de sorte que les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tripleront d'ici 2100.

Les chiffres figurant dans le nom des scénarios RPC indiquent la force de forçage radiatif totale atteinte vers 2100, par rapport à 1750.

Le forçage radiatif est une mesure de l'influence d'un facteur dans la modification du bilan énergétique du système terrestre et est une indication de l'importance du facteur lui-même comme mécanisme potentiel de changement climatique. Les valeurs des forçages radiatifs se réfèrent aux conditions préindustrielles estimées en 1750 et sont exprimées en W/m^2 . Dans tous les scénarios, les concentrations atmosphériques de CO_2 sont plus élevées en 2100 que les niveaux actuels en raison d'une nouvelle augmentation des émissions cumulées de CO_2 dans l'atmosphère au cours du 21ème siècle. Les scénarios RCP peuvent être étendus au fil du temps sous la forme d'ECP (*Extended Concentration Pathways*).

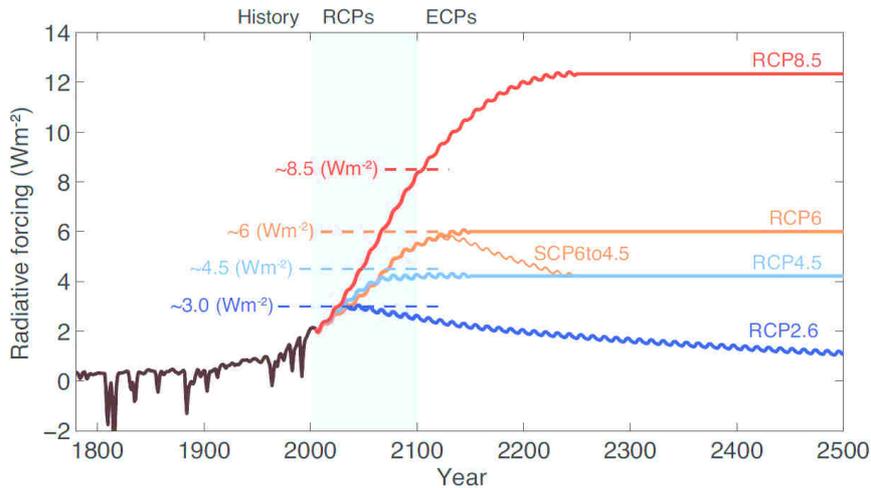


Figure 10.4 - Agent de forçage radiatif total (naturel et anthropique) dans différents scénarios ; extension des RCP dans ECP (Source : AR5 IPCC, 2013)

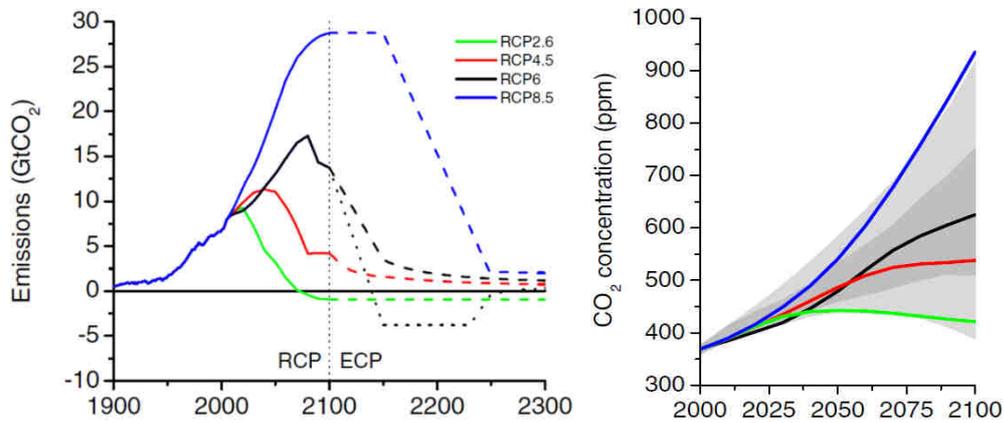


Figure 10.5 - Émissions et concentrations de CO₂ dans différents scénarios (Source : van Vuuren et al, 2011)

2. Variabilité climatique à grande échelle : analyse historique et projections futures

La connaissance du climat actuel et du climat passé récent est la première étape nécessaire pour identifier et estimer les impacts des changements climatiques qui se sont déjà produits et qui sont en cours. Alors que la connaissance du climat futur repose fondamentalement sur l'utilisation de modèles numériques, la connaissance du climat des dernières années et des tendances actuelles est basée sur la surveillance des variables météorologiques, c'est-à-dire la série d'observations. Les observations sont également nécessaires pour valider les modèles climatiques et, grâce aux modèles statistiques, sont utiles pour améliorer les projections futures à l'échelle locale. Bien que de grands progrès aient été réalisés, la connaissance du climat passé et présent ne peut être décrite comme entièrement consolidée

ou complète. Comme le montrent les derniers rapports du IPCC, si les estimations du réchauffement climatique sont désormais largement connues et fiables, le niveau d'incertitude augmente à mesure que l'échelle diminue et, surtout, lorsque l'on considère les variables climatiques qui sont de plus en plus indirectement affectées par les changements du bilan énergétique mondial. Ainsi, par exemple, l'estimation des variations des précipitations est plus incertaine, à la fois dans l'espace et dans le temps, que celle des variations de température, et encore plus incertaines sont les estimations des variations des événements climatiques extrêmes.

2.1. Variabilité climatique régionale

Du point de vue climatique, la région de la Toscane, en raison de sa conformation complexe, peut être divisée en deux macro-zones : la Haute Toscane qui, avec son orographie accentuée, protège les secteurs méridionaux des masses d'air froid provenant des Balkans et détermine, en même temps, la concentration maximale des précipitations dans la période automne-hiver, et la Toscane centre-sud, où le facteur le plus important est la proximité de la mer qui atténue les températures minimales. La partie orientale est d'ailleurs caractérisée par l'effet dit de « vallée intérieure », où peuvent se produire des phénomènes liés à l'inversion thermique, tels que les brouillards et les gelées. Les zones plus méridionales, en revanche, sont caractérisées par l'aridité. Même la Toscane n'est pas à l'abri du changement climatique, qui a des répercussions importantes sur les systèmes physiques, chimiques, biologiques et socio-économiques.

De l'analyse des données des dernières décennies des principaux paramètres climatiques (en particulier la température et les précipitations) et de certains indices dérivés relatifs au territoire régional toscan, on peut dégager une tendance qui s'inscrit dans la ligne de celle qui se dessine au niveau national et du bassin méditerranéen.

Voici un résumé des principales tendances climatiques détectées en Toscane depuis le milieu des années cinquante jusqu'à aujourd'hui par CNR-LaMMA :

- augmentation des températures, surtout au printemps et en été ;
- augmentation du nombre de vagues de chaleur et de jours de chaleur critique en été ;
- la stationnarité des vagues de froid et des journées froides en hiver ;
- légère (non significative) diminution des précipitations annuelles cumulées, au printemps et en hiver (inversion possible ces dernières années) ;
- absence de tendance des précipitations au cours des 25 dernières années, mais alternance de périodes de grande rareté de l'eau et de périodes de grande disponibilité de l'eau ;

- la stationnarité du nombre d'événements avec de très fortes précipitations journalières (augmentation ces dernières années, à confirmer dans le futur) ; cependant, augmentation de la proportion de précipitations annuelles dues à ces événements ;
- irrégularité accrue de la distribution temporelle des précipitations, tant en saison sèche qu'en saison des pluies ; augmentation des inondations qui ont atteint leur point culminant au début des années quatre-vingt dix.

Températures moyennes : analyse historique

Quelques graphiques montrant la tendance des températures minimales, maximales et moyennes quotidiennes au niveau annuel pour la période 1990-2014 ; l'analyse a été effectuée en faisant la moyenne des valeurs des stations météorologiques de Florence, Arezzo, Grosseto et Pise qui peuvent être considérées comme représentatives de toute la région. Les graphiques montrent également les lignes de tendance dans le temps et la valeur climatologique moyenne « normale » pour la période de référence 1971-2000. Les images montrent une tendance à l'augmentation des températures quotidiennes pendant la période considérée (1990-2014).

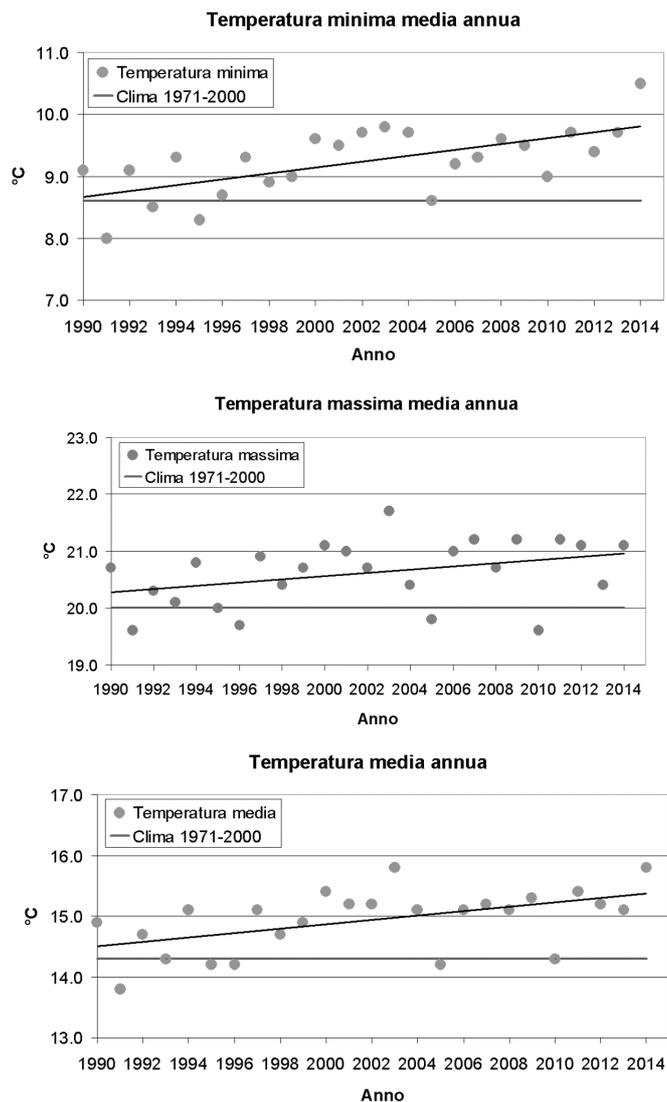


Figure 22.6 - Température quotidienne minimale, maximale et moyenne annuelle, avec ligne de tendance (en noir) et température de référence « normale » (1971-2000) (en gris). (Source : LaMMA, 2015)

Températures extrêmes : analyse historique

Température maximale en été

Le graphique suivant montre la tendance à l'augmentation du nombre de jours d'été (moyenne entre les stations de Florence, Arezzo, Grosseto et Pise ; période 1990-2015) avec des températures maximales extrêmes, c'est-à-dire des températures qui, dans la période 1971-2000, ne se sont produites que dans 5 % des jours d'été.

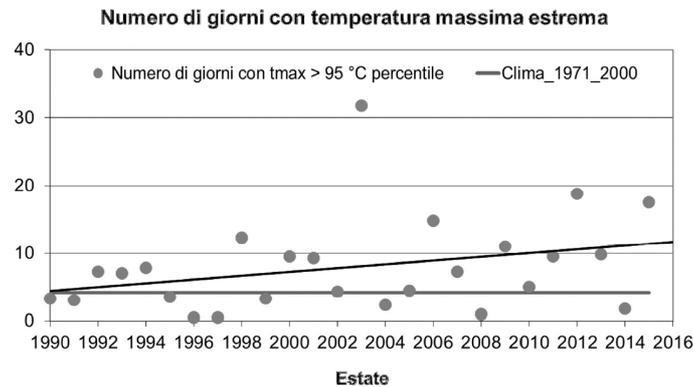


Figure 22.7 - Nombre de jours avec des températures maximales extrêmes, avec ligne de tendance (noir) et température de référence " normale " (1971-2000) (en gris). (Source : LaMMA, 2015)

Vagues de chaleur

Par « vague de chaleur », on entend un événement qui dure au moins 7 « jours de chaleur » consécutifs, c'est-à-dire un jour où la température quotidienne moyenne est supérieure d'au moins un écart-type (calculé sur la période 1971-2000) à la température climatologique quotidienne moyenne (également calculée sur la période 1971-2000) de ce jour. L'image montre le nombre de vagues de chaleur en été de 1990 à 2015 (moyenne entre les stations d'Arezzo, Florence, Grosseto et Pise). Ici aussi, la tendance est à l'augmentation.

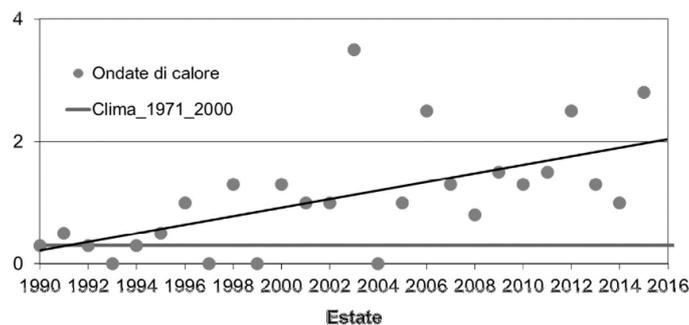


Figure 22.8 - Nombre de vagues de chaleur en été, avec ligne de tendance (en noir) et température de référence « normale » (1971-2000) (en gris). (Source : LaMMA, 2015)

Vagues de froid

La figure ci-dessous montre le nombre de vagues de froid en hiver depuis 1990 (de l'hiver 1989/1990 à l'hiver 2014/2015 ; moyenne entre les stations d'Arezzo, Florence, Grosseto et Pise). Dans ce cas, la tendance est pratiquement stationnaire.

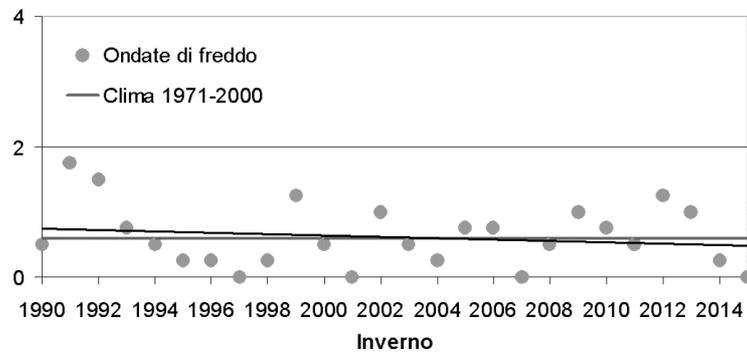


Figure 22.9 - Nombre de vagues de froid en hiver, avec ligne de tendance (en noir) et température de référence « normale » (1971-2000) (en gris). (Source : LaMMA, 2015)

Précipitations moyennes : analyse historique

Au niveau régional, il existe plusieurs analyses de séries de données pluviométriques historiques, se référant à des intervalles de temps plus ou moins longs. Nous rapportons un premier traitement des données pour la période 1916-2011, effectué dans le cadre de la rédaction du *Plan régional de l'environnement et de l'énergie - Livre blanc sur le changement climatique en Toscane* par la Région Toscane en 2013. L'analyse des précipitations a été effectuée dans quatorze stations réparties uniformément dans toute la région. La deuxième élaboration rapportée se réfère plutôt à la période 1990-2014 et a été réalisée par le Consortium LaMMA en 2015, en médiant les données des stations d'Arezzo, Florence, Grosseto et Pise.

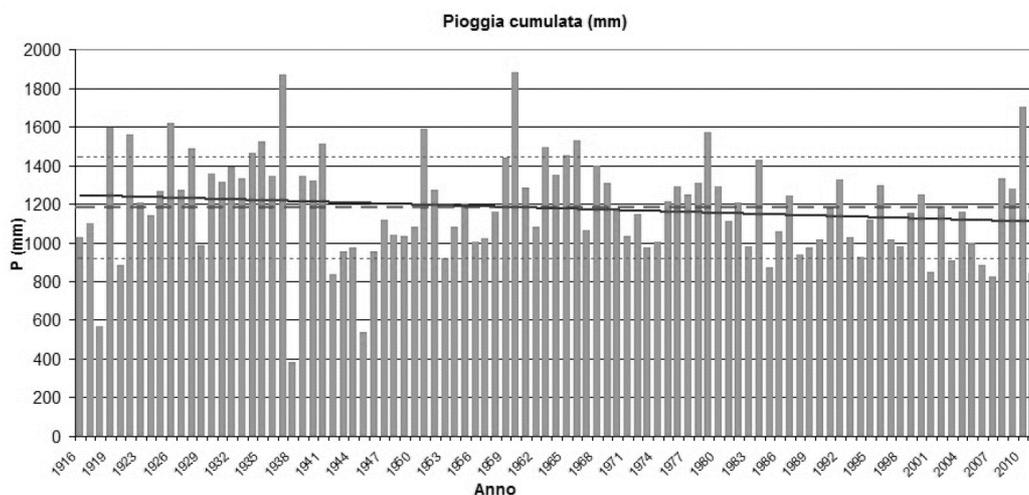


Figure 22.10 - Précipitations cumulées moyennes annuelles, avec valeur moyenne pour toute la période d'observation (ligne pointillée marquée), écart-type (lignes pointillées fines) et tendance (ligne continue). (Source : Livre blanc sur le changement climatique en Toscane, 2013)

L'examen de la tendance des données annuelles cumulées montre une tendance générale négative des apports météorologiques, sur une base régionale, sur la période historique analysée (1916-2011).

Au contraire, les résultats pour la période 1990-2014 ne montrent pas de tendance particulière dans le chiffre des précipitations annuelles. On constate cependant que ces dernières années, la variabilité s'est accrue, avec une alternance d'importants excédents et de déficits importants.

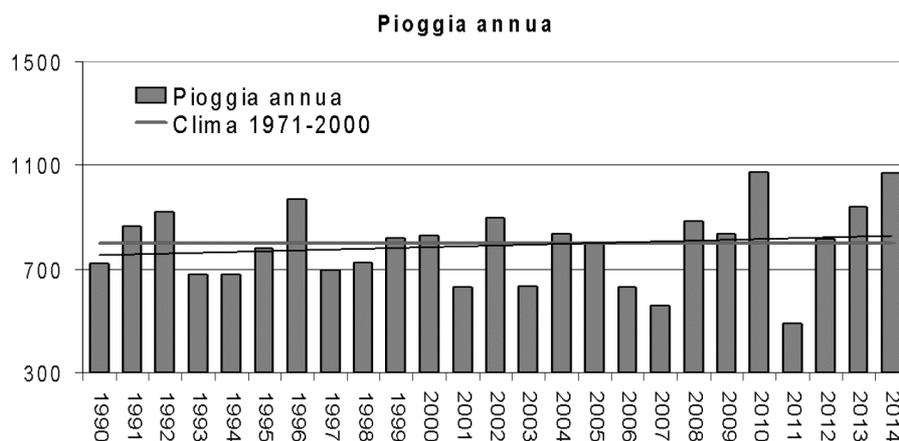


Figure 22.11 - Pluie annuelle cumulée. La ligne de tendance dans le temps (ligne noire) et la pluie « normale » de référence (ligne grise) pour la période 1971-2000 sont indiquées. (Source : LaMMA, *Changements climatiques récents en Toscane*, 2015)

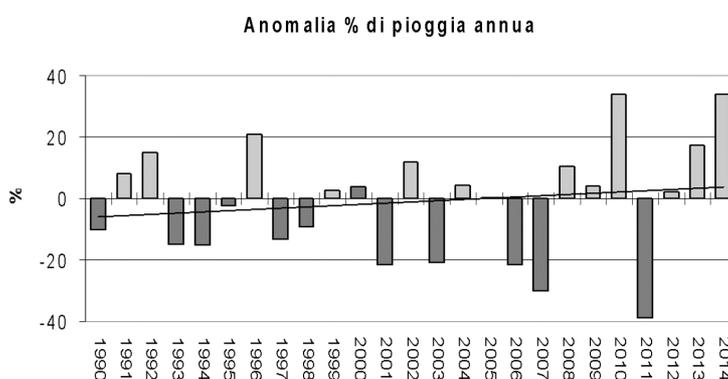


Figure 22.12 - Anomalie (%) des précipitations annuelles cumulée. La ligne de tendance dans le temps (ligne noire) est indiquée. (Source : LaMMA, *Changements climatiques récents en Toscane*, 2015)

Pour l'étude au niveau saisonnier, nous trouvons plutôt une élaboration plus poussée du Consortium LaMMA et mise à jour jusqu'en 2008, dans laquelle les précipitations cumulées dans la période 1991-2008 par rapport à 1961-1990 montrent une diminution annuelle et saisonnière. L'automne est la seule saison en contre-tendance qui, tout en maintenant les zones où les précipitations sont réduites, montre une augmentation régionale moyenne de +7 %, ce qui est cependant insuffisant pour compenser les réductions du reste de l'année.

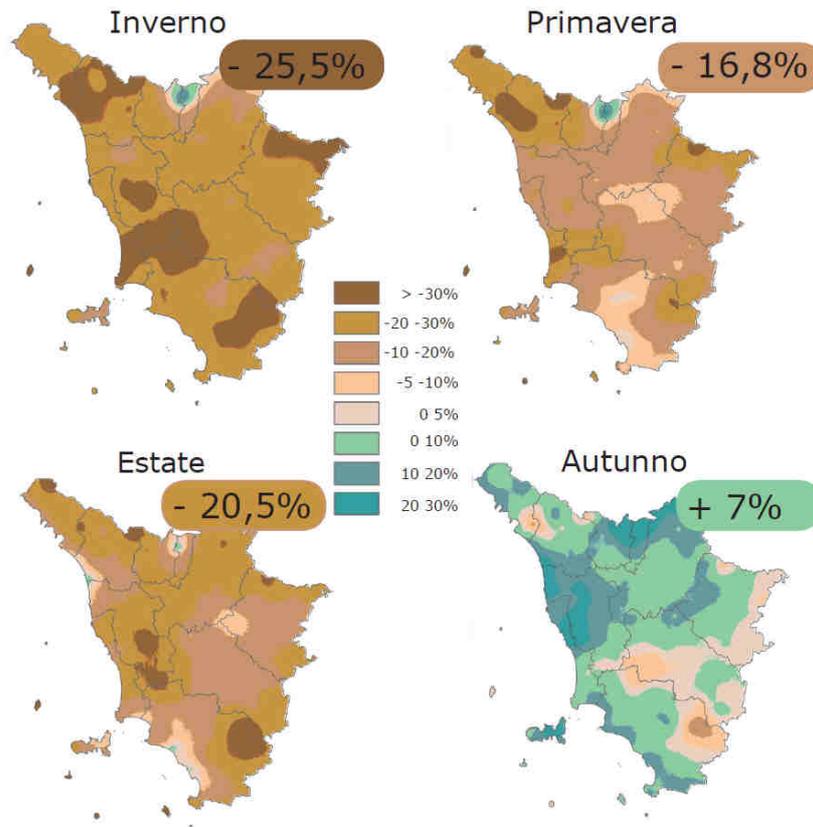


Figure 22.13 - Cartes des anomalies (%) des précipitations saisonnières (mm) pour la période 1991-2008 par rapport à la période de référence 1961-1990. (Source : LaMMA, 2010)

Précipitations extrêmes : analyse historique

Un autre aspect d'importance fondamentale est l'analyse de l'intensité des différents phénomènes pluviométriques. Alors que nous constatons une réduction des apports de météorites, il est intéressant de noter comment le caractère des pluies a changé. En particulier, on note une augmentation de la proportion de jours de fortes précipitations ($P \geq 50$ mm/jour) par rapport au nombre total de jours de pluie, tandis que le nombre de jours caractérisés par des précipitations moyennes dites "effectives" ($1 < P \leq 20$ mm/jour) semble diminuer au cours des dernières années avec une augmentation simultanée du nombre de jours sans pluie.

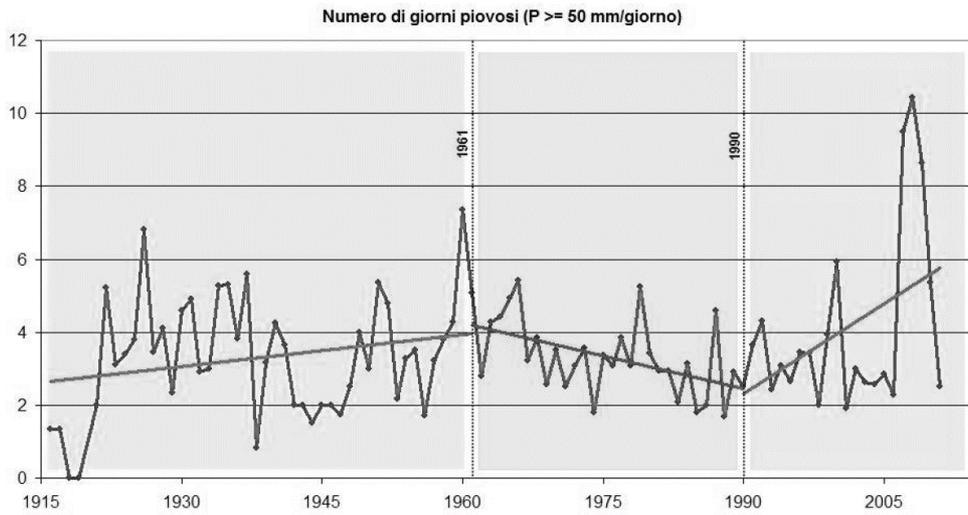


Figure 22.14 - Nombre de jours de pluie avec $P \geq 50$ mm/jour. (Source : ARPAT, 2013)

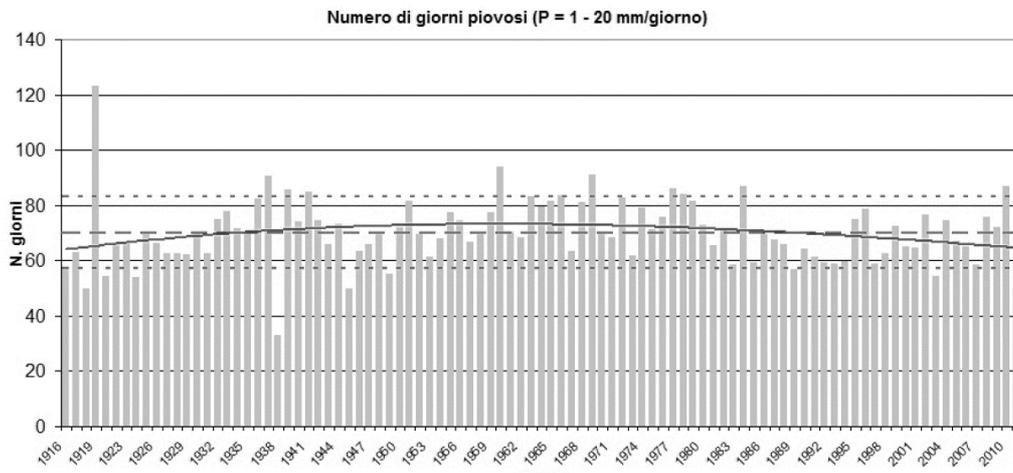


Figure 22.15 - Nombre moyen de jours de pluie avec $1 < P \leq 20$ mm/jour. (Source : ARPAT, 2013)

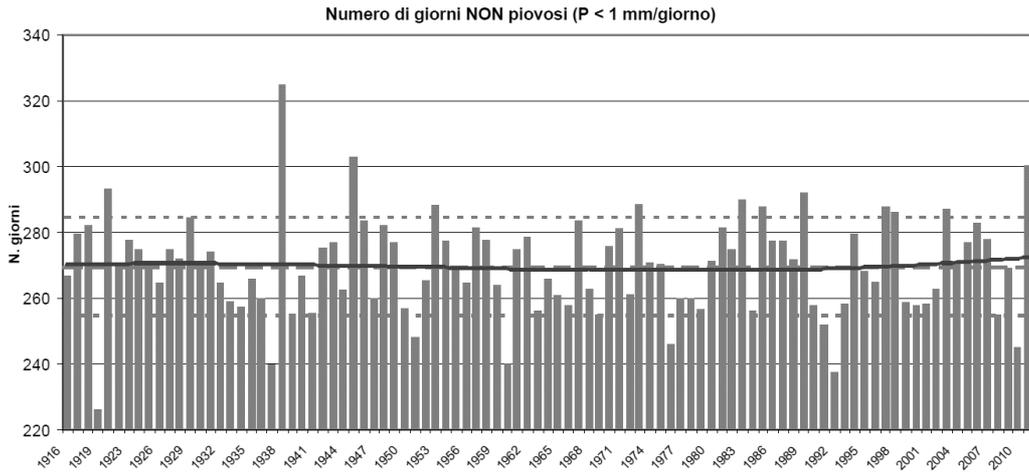


Figure 22.16 - Nombre moyen de jours sans pluie (avec $P \leq 1$ mm/jour). (Source : ARPAT, 2013)

En ce qui concerne les extrêmes de précipitations, par contre, pour la période 1990-2014, l'analyse du nombre de jours où se produisent des cumuls journaliers extrêmes ne montre pas de variations significatives.

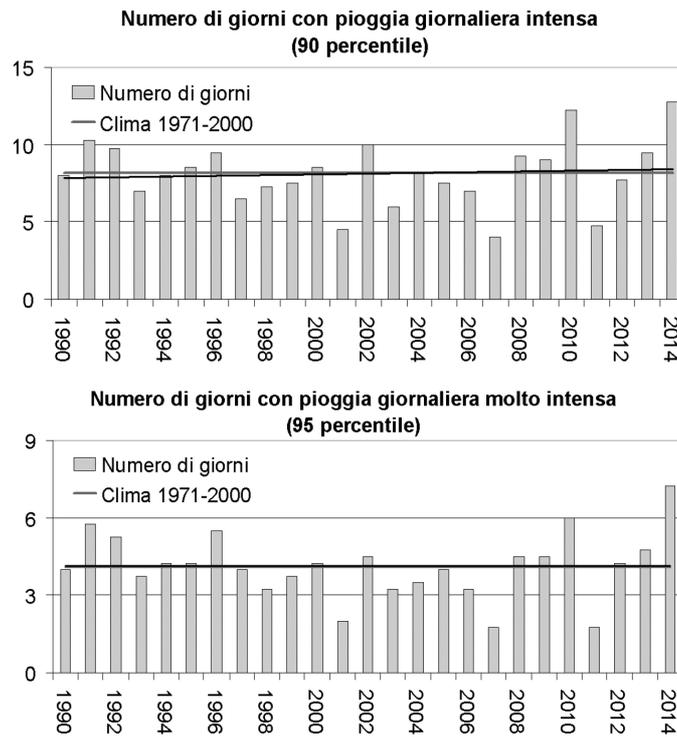


Figure 22.17 - Nombre de jours avec des précipitations quotidiennes supérieures à 90° (ci-dessus) et 95° (ci-dessous) centile. Ligne de tendance (en noir) et nombre de jours de référence « normaux » (ligne grise) pour la période 1971-2000. (Source : LaMMA, 2015)

3. La variabilité climatique sur le territoire de Rosignano Marittimo : analyse historique et projections

3.1. Données pluviométriques et thermomètres

3.2.1. Qualité des données

Pour remplir la tâche de production de connaissances fiables, les séries d'observation, sur lesquelles repose l'étude de la variabilité climatique locale, doivent répondre aux exigences de qualité des données, de continuité temporelle, d'adéquation dans la distribution et la densité spatiales, d'homogénéité et de comparabilité des séries de données et de disponibilité et de régularité de leur mise à jour. L'absence d'une ou de plusieurs de ces exigences peut conduire à des estimations incorrectes ou incertaines du comportement en cours et donc de peu d'utilité.

La disponibilité d'un grand nombre de séries d'observations ne suffit donc pas à elle seule pour reconstituer les variations du climat passé et pour estimer les tendances actuelles. En fait, les ensembles de données ne sont pas toujours suffisamment continus et complets et présentent souvent des incohérences qui sont le résultat de facteurs externes non climatiques. Par exemple, des changements brusques de la valeur moyenne peuvent être dus au déplacement de la station de mesure, au remplacement des instruments, à des modifications de l'exposition des instruments ou à l'adoption de nouvelles procédures de traitement des données. Les modifications de l'environnement de la station (urbanisation ou croissance de la végétation) et les changements progressifs de l'étalonnage ou des caractéristiques physiques de l'instrument de mesure peuvent également introduire des tendances artificielles dans la série. Il est donc nécessaire d'adopter des techniques permettant de vérifier l'homogénéité des ensembles de données et, si nécessaire, de corriger (homogénéiser) les ensembles de données afin de filtrer les signaux non climatiques.

Afin d'identifier les éventuels points d'inhomogénéité et de corriger les séries, différentes méthodologies ont été développées, la plupart du temps de nature statistique. Il convient toutefois de noter que les résultats de l'application des différentes méthodes d'homogénéisation ne sont souvent pas univoques ; surtout, dans de tels cas, la disponibilité d'informations (métadonnées) documentant l'historique des stations de relevé et permettant d'identifier toute inhomogénéité et l'application plus fiable des méthodes d'homogénéisation sont d'une importance primordiale. Par conséquent, il convient de traiter les ensembles de données hydrologiques constitués de données recueillies d'une manière sensiblement différente qui conduit à des anomalies statistiques. De plus, l'analyse exploratoire des données à l'aide de graphiques diagnostiques appropriés est une étape fondamentale de toute étude

quantitative. Son importance est souvent sous-estimée, car on omet l'analyse visuelle au profit de statistiques synthétiques ou d'une analyse numérique incapable de mettre en évidence les aspects importants de la série qui peuvent être déduits à la place par un contrôle visuel direct. La façon la plus simple d'effectuer une analyse graphique est d'examiner les données brutes pour mettre en évidence les problèmes (données manquantes, valeurs aberrantes) et les tendances temporelles (saisonnalité, tendances, changements soudains) des données.

En général, les contrôles de validité des données font partie des tâches et des activités des sources de données, qui recueillent les valeurs des observations climatiques des réseaux de surveillance, les soumettent à ces contrôles et les archivent. En Italie, au cours des dernières décennies, un certain nombre d'activités de recherche ont été menées afin d'obtenir un nombre important de séries homogènes à long terme de températures et de précipitations, tant pour l'ensemble du pays que pour des zones géographiques spécifiques.

3.2.2. Sélection et analyse des données

L'étude de la variabilité climatique locale est fondée sur le choix et le traitement ultérieur de séries de données climatiques recueillies au fil du temps par des stations situées dans la région examinée. L'objectif est de disposer d'un ensemble de stations avec des séries chronologiques représentatives du climat local et répondant aux exigences de qualité, d'exhaustivité et de continuité pour assurer une estimation fiable des changements dans le temps et donc des tendances. Comme le nombre de stations ayant des séries complètes est limité, l'exigence d'exhaustivité est assouplie par l'application de deux critères : le premier garantit qu'il n'y a pas de nombre constant d'années consécutives sans indicateurs valides ; le second garantit que les années manquantes ne sont pas concentrées dans la période la plus récente afin de mettre à jour l'estimation des tendances aux années les plus récentes. Une sélection a ensuite été effectuée parmi les données disponibles dans le système du Centre fonctionnel régional pour la surveillance météorologique et hydrologique, Section du secteur hydrologique régional (SIR). Les ensembles de données recueillies par les différents thermomètres constituent la base du calcul des indices climatiques, tels que les valeurs normales et les anomalies annuelles, ainsi que de l'estimation des tendances moyennes de la température sur une vaste zone. En ce qui concerne les précipitations, par contre, en raison de la plus grande variabilité spatiale et temporelle et de la plus faible uniformité de la base de données disponible (tant au sens spatial que temporel), chaque série est utile pour l'estimation de l'évolution des précipitations dans un seul endroit ; pour l'estimation de l'évolution moyenne sur le territoire, il faut procéder à un traitement avec des méthodes d'agrégation spatiale, dont

la plus simple est représentée par la moyenne des valeurs obtenues sur plusieurs stations dispersées sur un territoire donné.

Une fois qu'une série chronologique bien représentative de la tendance d'une variable climatique dans une région donnée a été obtenue, l'identification des variations significatives dans la période d'intérêt et l'estimation de leur ampleur et de leur niveau de signification sont effectuées par l'application de tests et de techniques d'analyse statistique. Les résultats, accompagnés du niveau de signification statistique, dépendent de la longueur des séries et de la reconnaissance éventuelle de points de changement qui séparent des périodes présentant des tendances distinctes dans l'intervalle de temps global

Il est également commode d'analyser les anomalies, c'est-à-dire les différences entre les valeurs moyennes d'une période et les valeurs moyennes (ou normales) correspondantes d'une période de référence, toutes deux d'une durée de trente ans. Cette longueur est jugée adéquate pour la caractérisation des valeurs moyennes et des extrêmes des variables atmosphériques d'intérêt.

Série pluviométriques

Les données de départ pour l'élaboration des séries de précipitations ont été trouvées sur le site du SIR, où ont été transcrites les données qui, jusqu'à il y a quelques années, figuraient dans les tableaux des Annales hydrologiques. Ces données sont principalement représentées par les hauteurs de pluie quotidiennes, relatives à la pluie tombant entre 9 heures la veille et 9 heures le jour où la mesure est communiquée. Plus récemment, avec la diffusion des pluviographes, les mesures quotidiennes sont plutôt rapportées à l'intervalle de temps 0-24. En ce qui concerne les précipitations d'intensité maximale, les seules séries disponibles sont celles enregistrées par les stations de la ville de Livourne, qui seront dûment relevées sur le territoire de Rosignano.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les précipitations ont une variabilité spatiale et temporelle beaucoup plus grande que la température. L'ensemble des valeurs de précipitation d'une station est utilisé pour l'estimation des indices et des tendances de précipitation sur le lieu où la station est représentative, tandis que les estimations sur le territoire sont obtenues en faisant la moyenne de celles des stations individuelles.

Série thermométrique

En ce qui concerne les données thermométriques, elles couvrent des périodes beaucoup plus courtes que les séries pluviométriques, mais contrairement aux séries pluviométriques, les données des stations peuvent être représentatives d'une zone assez vaste. Par conséquent, on a choisi les deux

stations ayant la quantité de données la plus importante et la plus complète : Livourne et Cecina, la première avec une série de soixante ans d'observations, la seconde avec une série plus limitée et plus récente.

Codice	Stazione	Comune	Provincia	Quota [m]	Lat. [°]	Lon. [°]	Anni
TOS10002040	Terriccio	Castellina Marittima	PI	149,47	43.384	10.543	2015/2018
TOS10002015	Castellina Marittima	Castellina Marittima	PI	352,00	43.420	10.573	2015/2018
TOS03002016	Castellina Marittima	Castellina Marittima	PI	325,00	43.410	10.573	1921/2003
TOS11000002	Cecina	Cecina	LI	60,00	43.352	10.523	2012/2018
TOS10002240	Cecina	Cecina	LI	7,03	43.309	10.513	1921/2001
TOS10002246	Cecina (Zuccherificio)	Cecina	LI	8,81	43.310	10.513	1975
TOS10002244	Cecina (Ghinchia)	Cecina	LI	5,83	43.286	10.532	1955/1971
TOS10002243	Cecina (Paludetto)	Cecina	LI	2,33	43.300	10.510	1932/1941
TOS10002060	Cecina (Terriccio Basso)	Cecina	LI	3,00	43.304	10.507	1979/2003
TOS10002242	Pineta Marina Cecina (e)	Cecina	LI	1,80	43.288	10.513	1932/1941
TOS10002241	Pineta Marina Cecina (i)	Cecina	LI	1,81	43.285	10.510	1932/1941
TOS11000036	Collesalvetti	Collesalvetti	LI	15,00	43.584	10.467	2012/2018
TOS10001920	Lorenzana	Crespina Lorenzana	PI	90,00	43.537	10.535	1921/2001
TOS01001921	Lorenzana	Crespina Lorenzana	PI	126,00	43.536	10.535	2000/2014
TOS10000309	Piazzana	Crespina Lorenzana	PI	45,98	43.572	10.548	1951/1972
TOS10001960	Livorno	Livorno	LI	7,00	43.552	10.309	1916/1998
TOS10005981	Livorno Mareografo	Livorno	LI	0,00	43.546	10.300	2003/2018
TOS10001959	Livorno Scuola	Livorno	LI	12,00	43.545	10.324	1995/2011
TOS10001970	Quercianella	Livorno	LI	18,00	43.457	10.370	1916/2018
TOS11000513	Quercianella	Livorno	LI	244,00	43.480	10.348	2012/2018
TOS01001961	Valle Benedetta	Livorno	LI	300,00	43.521	10.404	2000/2018
TOS01002231	Riparbella	Riparbella	PI	230,00	43.367	10.602	2006/2018
TOS10002230	Riparbella	Riparbella	PI	180,72	43.364	10.599	1921/2003
TOS10001980	Nibbiaia	Rosignano Marittimo	LI	270,01	43.466	10.418	1934/1941
TOS10002042	Polveroni di Vada	Rosignano Marittimo	LI	6,46	43.372	10.458	1959/1973
TOS10002030	Quercioletta	Rosignano Marittimo	LI	18,00	43.389	10.448	1974/2010
TOS10002012	Rosignano Mar (Poggetti)	Rosignano Marittimo	LI	163,06	43.406	10.483	1990/1997
TOS10002014	Rosignano Marittimo	Rosignano Marittimo	LI	133,54	43.408	10.476	1921/1955
TOS10002050	Vada (Bonifica)	Rosignano Marittimo	LI	2,00	43.327	10.459	1930/2018
TOS10002044	Vada (Osservatorio)	Rosignano Marittimo	LI	4,95	43.352	10.464	1932/1941
TOS10002008	Villa Borghi	Rosignano Marittimo	LI	60,00	43.460	10.477	1951/1955
TOS10001990	Casacce	Santa Luce	PI	50,00	43.442	10.509	1951/2018
TOS10002000	S. Luce	Santa Luce	PI	196,00	43.472	10.565	1921/2003
TOS03002001	S. Luce	Santa Luce	PI	196,00	43.472	10.565	2015/2018

Tableau 33.1 - Stations pluviométriques sur le territoire de Rosignano Marittimo et environs. En gras ceux qui ont été analysés, en gris ceux dont les données sont insuffisantes.

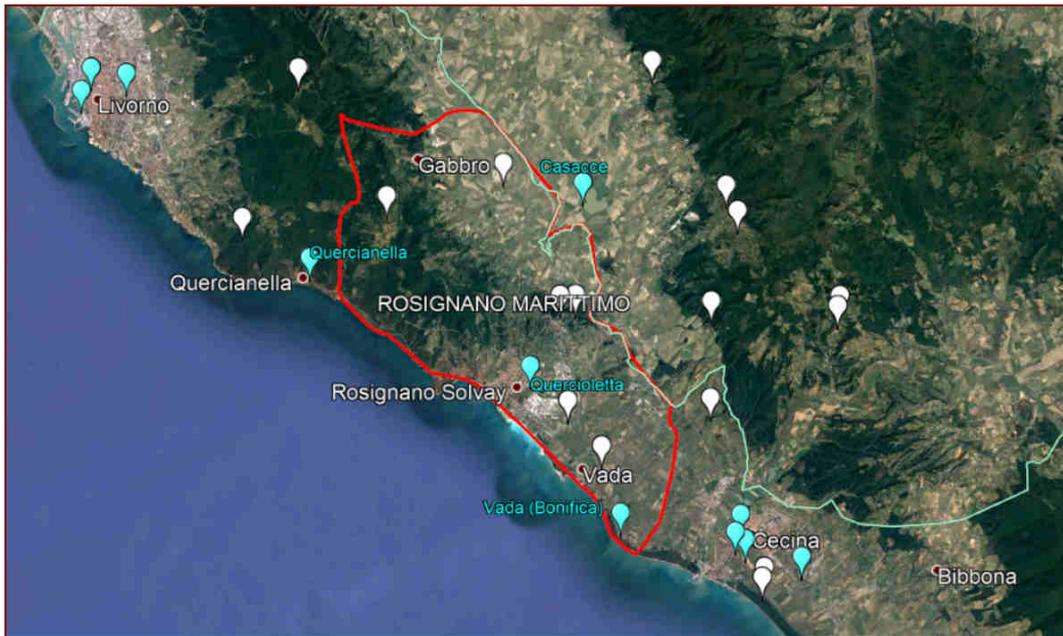


Figure 33.18 - Stations pluviométriques sur le territoire de Rosignano Marittimo et environs ; en rouge les limites municipales ; en bleu les stations analysées ; en blanc les stations non analysées.

3.2.3. Tests de Mann-Kendall

Le test de *Mann-Kendall* (MKT) est souvent utilisé pour déterminer la signification statistique des tendances monotones dans les séries chronologiques climatologiques. Il s'agit d'un test non paramétrique, car il ne suppose aucune distribution a priori des données, ce qui entraîne une plus grande robustesse que les méthodes paramétriques. Il est basé sur deux hypothèses :

- Hypothèse nulle H_0 , pas de tendance ;
- Hypothèse alternative H_1 , présence de tendances.

L'hypothèse nulle (H_0) est donc que les données proviennent d'une population dans laquelle les données sont indépendantes et distribuées de façon identique. L'hypothèse alternative (H_1) est plutôt que les données suivent une tendance monotone (positive ou négative) dans le temps.

Étant donné une série de n valeurs, T_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n-1$) et T_j ($j = i+1, i+2, \dots, n$) sont définis comme des sous-ensembles de la série examinée. Chaque valeur est comparée à toutes les valeurs suivantes : si la valeur T_i est supérieure à la valeur T_j suivante, la fonction statistique S est augmentée de 1, inversement, si la valeur T_i est inférieure à T_j , S est diminuée de 1. La logique du test repose sur l'hypothèse qu'en l'absence de tendance, une observation de T_i est suivie d'un nombre à peu près égal d'observations avec une valeur de T_i plus élevée et plus faible de sorte que $S \approx 0$.

La statistique S de Mann-Kendall est calculée comme suit :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(T_i - T_j)$$

$$\text{sign}(T_i - T_j) = \begin{cases} 1 & \text{se } T_i - T_j > 0 \\ 0 & \text{se } T_i - T_j = 0 \\ -1 & \text{se } T_i - T_j < 0 \end{cases}$$

Lorsque la série est suffisamment longue ($n \geq 10$), on suppose que la fonction S est normalement distribuée avec la moyenne et la variance respectivement :

$$\mu_S = 0$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g t_i(i-1)(2i+5)}{18}$$

Le deuxième terme est introduit pour apporter la correction nécessaire en présence de groupes d'observations égaux qui génèrent ce que l'on appelle des nœuds, en particulier g est le nombre de nœuds et t_i est le nombre de nœuds du i -ème groupe.

Enfin, la statistique du test est définie :

$$Z = \frac{S - \text{sign}(S)}{\sigma}$$

On peut montrer que la distribution de Z est normale. Cela facilite le calcul des *valeurs p* correspondant à la *valeur Z* calculée. La *valeur p* représente la probabilité d'obtenir une valeur de Z supérieure ou égale à celle calculée, c'est-à-dire qu'elle contraste encore plus avec l'hypothèse nulle (absence de tendance).

L'hypothèse nulle est rejetée si la valeur de Z calculée pour la série examinée a une *valeur p* inférieure au niveau de signification choisi α (généralement 0,05), donc si :

- $p \geq 0,05$: H_0 est accepté, donc la présence de tendances possibles (faibles) n'est liée qu'au hasard ;
- $p < 0,05$: H_0 est rejeté, la série présente une tendance statistiquement significative.

La *valeur p* indique en conséquence le niveau de risque que vous avez en rejetant l'hypothèse H_0 , ainsi par exemple, une *valeur p* de 0,03 indique une tendance probable. En effet, en rejetant H_0 (l'absence de tendance), il y a une probabilité de 3 % qu'un tel rejet ait été fait par erreur.

3.2.4. Régression des données

Une fois que la présence de discontinuités ou de tendances a été identifiée, il peut être utile de dériver un modèle à partir des données. Une façon très répandue de dériver des modèles consiste à utiliser des techniques de régression qui, dans le cas des séries chronologiques, seront des régressions des valeurs de la série par rapport au temps. Les régressions fournissent un modèle de données sous la forme d'une équation mathématique qui peut également être utilisée pour l'interpolation ou l'extrapolation des données. Cette équation permet également de saisir visuellement la tendance temporelle des séries historiques en limitant l'effet de perturbation dû aux fluctuations à court terme.

La méthode utilisée pour la détection de la régression linéaire est celle des moindres carrés, selon laquelle la fonction d'optimisation des données est celle qui minimise la somme des carrés des distances entre les données observées et celles de la ligne droite qui représente la fonction elle-même. La ligne droite de régression aura une équation de type $y = bx + a$, où b représente la pente et a l'intersection. Une valeur négative de b indique une tendance à la baisse, tandis que des valeurs positives indiquent une croissance ; des valeurs plus proches de zéro indiquent des tendances peu marquées, au contraire, des valeurs très élevées de b (en valeur absolue) équivalent à la présence de tendances très fortes.

Une fois le modèle de régression obtenu, il est possible d'évaluer sa performance grâce au *coefficient de corrélation* R , une mesure de l'adéquation de la relation linéaire entre les valeurs de x (temps) et y (les quantités analysées). Une valeur unitaire indique une relation linéaire exacte entre x et y , et donc l'absence de différence entre la valeur estimée et la valeur réelle de y . Les valeurs de R proches de l'unité indiquent une excellente concordance entre les données et la relation choisie. Si, au contraire, le coefficient de corrélation est relativement éloigné de l'unité, les prévisions basées sur la relation linéaire $y = bx + a$ ne seront qu'indicatives. Il est notamment mis en évidence :

- $0 < R < 0,3$ corrélation faible
- $0,3 < R < 0,7$ corrélation modérée ;
- $R > 0,7$ corrélation forte.

Cependant, plutôt que la valeur R , c'est souvent la valeur R au carré qui est exprimée, c'est-à-dire le *coefficient de détermination*, pour exprimer la dispersion des données autour de la ligne de régression et donc la robustesse de la tendance. Le coefficient de détermination exprime la variabilité de la fonction de la variable dépendante de la variable indépendante, c'est-à-dire la variation des valeurs de y qui peut être attribuée à la variation de x . Par exemple, en supposant que la variable y est liée de façon causale à la variable x , une valeur de R au carré de 0,75 exprime que 75 % de la variation de y est liée à la variation de x , c'est-à-dire que 75 % de cette variation est incluse dans la ligne droite de régression, tandis que les 25 % restants ne sont pas liés à la régression linéaire.

Plus R , et donc R au carré, est élevé, plus le modèle décrit la variabilité des données. Cependant, même un modèle avec R -au carré élevé peut être statistiquement inadéquat et en particulier sa qualité peut ne pas être égale sur toute la gamme des observations, ce qui se manifeste par une distribution irrégulière des résidus, ou le modèle peut être guidé par la présence de points qui ont trop d'influence sur le résultat.

Avec la pente de la ligne droite, il est toutefois possible de tirer des conclusions intéressantes : par exemple, des valeurs élevées de R -au carré accompagnées de valeurs de pente faibles ne représentent pas des tendances particulièrement significatives, tandis que les régressions avec des valeurs de pente et de R -au carré élevées auront une plus grande signification.

3.2. Précipitations cumulées moyennes

Les séries de précipitations sélectionnées ont été analysées sur une base annuelle et saisonnière, en calculant les précipitations cumulées dans ces intervalles de temps et les anomalies par rapport à plusieurs années de référence vieilles de trente ans. L'analyse de la tendance temporelle, par l'identification de la ligne de régression avec la méthode des moindres carrés, a permis d'identifier toute tendance en cours. Ces tendances ont ensuite été soumises à une analyse de signification, le test de Mann-Kendall étant appliqué à l'ensemble de données pertinent. Les tableaux et graphiques de l'analyse des valeurs et des anomalies pour les différentes stations sont présentés en annexe.

Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico					
1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
<i>Media stazioni</i>										
Anno	780,6	756,1	747,3	-24,4	-8,8	-	731,3	716,8	702,3	
Inverno	217,8	173,9	177,7	-43,9	3,8	-	177,3	169,7	162,2	
Primavera	180,3	172,6	163,5	-7,7	-9,1	-	144,2	132,3	120,5	
Estate	107,1	102,7	90,5	-4,4	-12,2	-	77,5	68,7	59,9	
Autunno	277,6	305,4	306,4	27,8	1,0	+	322,5	333,0	343,6	
<i>Casacce</i>										
Anno	775,7	767,0	770,0	-8,8	3,0	-	NS	690,8	651,9	613,1
Inverno	217,6	175,9	181,7	-41,6	5,7	-	NS	166,3	146,6	126,9
Primavera	181,4	174,0	171,9	-7,3	-2,2	-	NS	164,3	159,5	154,7
Estate	112,0	108,0	96,0	-3,9	-12,1	-	NS	72,9	61,1	49,3
Autunno	268,8	306,4	317,2	37,6	10,7	+	NS	306,0	308,1	310,2

<i>Quercianella</i> P cumulate [mm]	Anno	827,4	794,9		-32,5		-	S	739,7	705,6	671,6
	Inverno	230,2	185,8		-44,4		-	S	132,6	101,9	71,2
	Primavera	192,8	183,3		-9,5		-	S	153,0	140,9	128,7
	Estate	108,9	103,5		-5,4		+	NS	112,0	116,2	120,4
	Autunno	293,8	322,1		28,3		+	NS	329,4	331,9	334,5
<i>Vada</i> P cumulate [mm]	Anno	738,6	711,6	706,3	-27,1	-5,3	-	S	601,7	554,2	506,7
	Inverno	205,6	169,9	171,6	-35,7	1,7	-	S	147,2	128,2	109,2
	Primavera	166,6	157,9	149,1	-8,7	-8,8	-	S	128,5	116,8	105,0
	Estate	100,5	97,3	86,0	-3,2	-11,2	+	NS	90,9	91,1	91,3
	Autunno	270,0	284,6	290,4	14,6	5,7	-	NS	254,8	245,0	235,1
<i>Quercioletta</i> P cumulate [mm]	Anno		751,2	765,7		14,5	+	NS	892,9	955,4	1017,9
	Inverno		164,1	179,8		15,8	+	NS	263,0	302,2	341,5
	Primavera		175,0	169,5		-5,5	-	NS	131,1	112,3	93,4
	Estate		102,0	89,4		-12,6	-	S	34,3	6,4	-21,4
	Autunno		308,3	311,6		3,2	+	NS	399,6	447,1	494,6

Tableau 33.2 - Valeurs climatologiques des précipitations annuelles cumulées et tendances de la régression linéaire

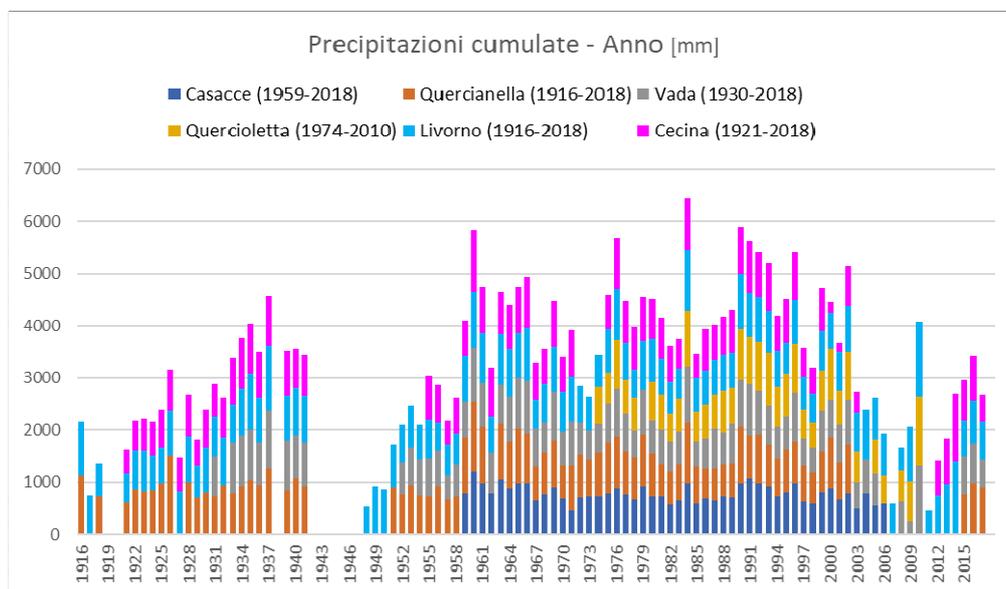
Les résultats de l'élaboration montrent une moyenne du cumul saisonnier décroissant dans l'ordre : automne, hiver, printemps, été. Les tendances temporelles des moyennes cumulatives saisonnières moyennes sont fonction de la station spécifique analysée, mais nous pouvons souligner que pour toutes les stations, il y a une diminution au printemps. En ce qui concerne les valeurs moyennes de toutes les stations, considérées comme représentatives de l'ensemble du territoire communal, nous pouvons constater des tendances à la baisse pour les précipitations cumulées annuelles, hivernales, printanières et estivales ; ce n'est qu'en automne que nous pouvons constater une tendance à la hausse. Ceci est en accord avec les études précédemment exposées et liées à la région de la Toscane. Bien que pour les stations individuelles, il existe des tendances sérieuses et donc statistiquement significatives, puisque la tendance de ces tendances ne correspond pas à celle des autres stations, on ne considère pas que les tendances relatives de la moyenne spatiale soient statistiquement significatives.

3.3.1. Comparaison des stations

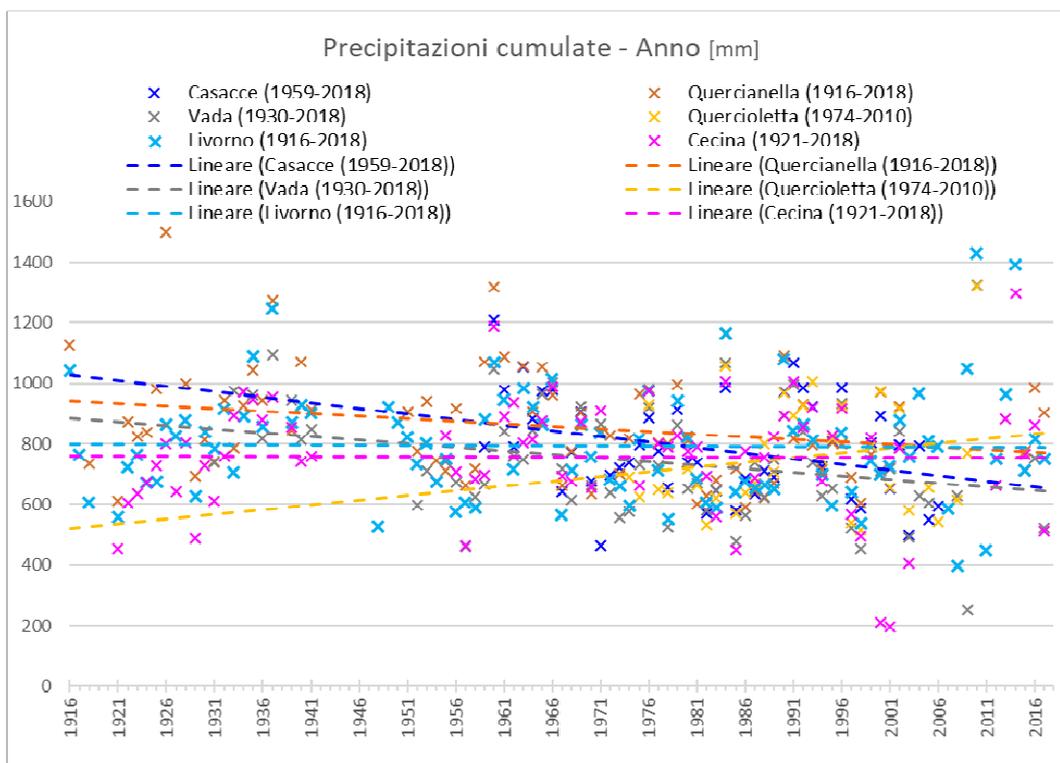
Afin de mieux comprendre la variabilité spatiale et temporelle des précipitations sur le territoire municipal, des graphiques sont fournis pour comparer les précipitations annuelles cumulées enregistrées par les différentes stations et leur tendance dans le temps. On peut constater qu'en moyenne, Quercianella est la station la plus pluvieuse, tandis que Vada est celle qui a enregistré les plus faibles accumulations. D'un point de vue temporel, comme déjà mentionné ci-dessus, les précipitations annuelles cumulées ont généralement tendance à diminuer, sauf pour la station de

Quercioletta, qui couvre cependant une courte période (1974-2010) par rapport aux autres et est donc considérée comme moins indicative de la tendance réelle des précipitations sur le long terme. Les stations de Livourne et de Cecina, en revanche, sont stationnaires.

Les valeurs numériques à partir desquelles les graphiques ont été obtenus sont indiquées en annexe dans le *Tableau 44.29* à la page 83.



Graphique 1 - Variabilité spatiale des précipitations. Somme des accumulations annuelles des différentes stations avec la contribution de chaque station mise en évidence. Le total ne reflète pas la tendance réelle des précipitations sur le territoire car les séries de données ne sont pas homogènes dans le temps (certaines années ne montrent pas les contributions de toutes les stations).



Graphique 2 - Comparaison de la variabilité temporelle et spatiale des précipitations annuelles cumulées.

3.3. Précipitations extrêmes

Les résultats de l'analyse des différents indicateurs climatiques sont résumés dans ce paragraphe. La tendance future présente ici est celle estimée à partir d'une prévision linéaire à partir de la ligne de régression qui caractérise la tendance actuelle et n'est pas considérée comme la valeur future la plus probable, pour laquelle nous nous référons plutôt aux paragraphes suivants. Les tableaux et graphiques complets sont plutôt présentés en annexe (§4.6).

Nombre de jours sans pluie

Le nombre de jours non pluvieux, c'est-à-dire avec des précipitations supérieures ou égales à 1 mm, est en augmentation sur les intervalles annuels, au printemps et en été, tandis qu'il diminue en hiver et en automne. Dans ce cas également, il n'est pas possible d'affirmer la signification statistique des tendances de la moyenne spatiale.

Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090

<i>Media stazioni</i>		Anno	289,8	292,1	291,2	2,3	-0,9	+	231,9	233,7	235,5
N. giorni non piovosi [giorni]	Inverno	66,2	69,5	68,4	3,3	-1,2	-		54,1	53,5	53,0
	Primavera	71,5	71,8	72,8	0,3	0,9	+		62,5	63,7	65,0
	Estate	81,9	82,3	83,0	0,4	0,7	+		71,7	72,2	72,6
	Autunno	70,1	68,7	67,5	-1,4	-1,2	-		56,2	55,6	55,1

Tableau 33.3 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future du nombre moyen de jours non pluvieux par an.

Nombre de jours consécutifs sans pluie (CDD)

Le nombre maximum de jours consécutifs non pluvieux est attribué à la période dans laquelle tombe le dernier jour de la série. Par conséquent, par exemple, dans les graphiques saisonniers, l'indicateur CDD peut dépasser le nombre de jours non pluvieux de la saison en question, car le compte des jours consécutifs est cumulatif et commence à la date de la dernière pluie, qui peut également être survenue au cours de la saison précédente. Les résultats de l'élaboration, en moyenne spatiale, montrent que le nombre de jours consécutifs non pluvieux diminue dans l'année et en été, alors qu'il augmente en hiver, au printemps et en automne.

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Media stazioni</i> CDD [giorni]	Anno	39,4	40,7	42,0	1,4	1,2	-	48,2	47,8	47,4
	Inverno	20,0	22,2	21,8	2,2	-0,4	+	21,8	22,1	22,5
	Primavera	20,9	22,9	23,0	2,0	0,1	+	22,4	22,8	23,2
	Estate	35,5	36,5	37,9	1,0	1,4	+	32,1	33,1	34,0
	Autunno	26,2	24,3	24,5	-1,9	0,2	+	24,5	25,4	26,2

Tableau 33.4 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future du nombre maximum de jours consécutifs annuels non pluvieux.

Nombre de jours de pluie

Le nombre moyen de jours de pluie a tendance à diminuer tout le temps, sauf en automne, où il y a une condition stationnaire¹

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090

¹

La non complémentarité des tendances en matière de nombre de jours de pluie est donnée par le traitement basé sur les valeurs moyennes de plusieurs stations qui, prises individuellement, présentent plutôt une tendance du nombre de jours de pluie complémentaire à celle des jours non pluvieux.

<i>Media stazioni</i>		Anno	75,4	73,1	73,3	-2,3	0,1	-	67,2	64,3	61,5
N. giorni piovosi [giorni]	Inverno	24,0	20,7	21,4	-3,3	0,7	-	22,1	22,0	21,8	
	Primavera	20,5	20,2	19,1	-0,3	-1,1	-	16,1	14,6	13,1	
	Estate	10,1	9,7	9,0	-0,4	-0,7	-	6,9	5,8	4,8	
	Autunno	20,9	22,3	23,3	1,4	1,0	+	22,3	22,3	22,3	

Tableau 33.5 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future du nombre moyen de jours de pluie par an.

Nombre de jours de pluie consécutifs (CWD)

Pour le nombre de jours de pluie consécutifs, la même observation s'applique que pour l'indicateur CDD. Les résultats montrent que le nombre moyen de jours de pluie consécutifs diminue, tant sur une base annuelle qu'en toutes saisons.

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Media stazioni</i> CWD [giorni]	Anno	5,9	6,0	6,1	0,0	0,1	-	5,8	5,7	5,6
	Inverno	5,0	4,3	4,5	-0,7	0,2	-	4,6	4,6	4,6
	Primavera	4,1	4,2	4,0	0,1	-0,2	-	3,8	3,7	3,6
	Estate	2,8	2,7	2,6	-0,1	-0,1	-	2,3	2,1	2,0
	Autunno	4,5	4,8	4,8	0,3	0,0	-	4,5	4,4	4,3

Tableau 33.6 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future du nombre maximum de jours de pluie par an.

Intensité moyenne des précipitations pendant les jours de pluie (SDII)

L'intensité moyenne des précipitations lors des jours de pluie augmente pour les périodes annuelles, au printemps et en été, alors qu'elle diminue en hiver et en automne.

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Media stazioni</i> SDII [mm/giorno]	Anno	10,4	10,4	10,2	0,0	-0,3	+	10,6	10,6	10,7
	Inverno	9,0	8,4	8,2	-0,6	-0,2	-	7,7	7,3	6,8
	Primavera	8,8	8,6	8,7	-0,2	0,0	+	9,0	9,0	9,1
	Estate	11,0	10,9	10,3	-0,1	-0,6	+	11,5	11,9	12,3
	Autunno	13,2	13,5	12,9	0,3	-0,6	-	13,5	13,7	10,6

Tableau 33.7 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future de l'intensité moyenne des précipitations les jours de pluie.

Nombre de jours avec de fortes précipitations (P90, P95, P99)

Le nombre moyen de jours où les précipitations quotidiennes dépassent les 90e, 95e et 99e centiles, calculé en ne considérant que les jours de pluie, montre une augmentation annuelle moyenne pour les

trois centiles, bien que moins marquée pour l'indicateur P99. Les phénomènes dépassant le 99e centile peuvent être considérés comme des événements extrêmes. Il faut cependant souligner que les fortes précipitations, de par leur nature, sont souvent caractérisées par une forte variabilité spatiale, donc leur valeur moyenne dans l'espace n'est pas très significative. En ce qui concerne les différentes stations, on constate une tendance à la baisse, dans un cas même statistiquement significative.

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
<i>Media stazioni</i>	P90	9,2	9,1	9,9	-0,1	0,8	+	9,7	9,8	10,0
Percentili	P95	4,3	4,5	5,1	0,1	0,6	+	4,9	5,1	5,2
<i>[giorni/anno]</i>	P99	1,0	1,0	1,1	0,0	0,1	+	1,2	1,3	1,3

Tableau 33.8 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future des jours de fortes précipitations P90, P95, P99.

Précipitations cumulées sur le 95e centile (R95p)

La quantité de pluie dépassant le 95e centile diminue en moyenne ; il n'y a pas de tendances statistiquement significatives pour les stations individuelles.

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico					
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090		
<i>Media stazioni</i>	R95p [mm]	Anno	191,8	208,0	215,3	16,1	7,3	+	214,5	219,3	224,2

Tableau 33.9 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future des précipitations cumulées dépassant le 95e centile.

Jours avec précipitations supérieures ou égales à 10 mm (R10)

Les différentes stations ne sont d'accord qu'en ce qui concerne une tendance à la baisse au printemps ; pour les autres intervalles de temps, il y a, en moyenne spatiale, une tendance à la baisse annuelle, hivernale et estivale et une augmentation en automne.

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico			
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090

Media stazioni R10 [giorni]	Anno	26,8	25,4	24,7	-1,4	-0,6	-	25,3	25,0	24,8
	Inverno	7,8	6,2	6,1	-1,7	-0,1	-	6,0	5,7	5,3
	Primavera	6,3	6,1	5,5	-0,2	-0,6	-	4,6	4,0	3,5
	Estate	3,4	3,2	3,0	-0,1	-0,2	-	2,9	2,7	2,6
	Autunno	9,4	9,9	9,8	0,5	-0,1	+	10,7	11,0	11,4

Tableau 33.10 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future des jours R10.

Jours avec précipitations supérieures ou égales à 20 mm (R20)

La moyenne spatiale montre une tendance positive sur une base annuelle et automnale, négative pour l'hiver, le printemps et l'été.

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
Media stazioni	Anno	10,3	9,9	9,6	-0,4	-0,3	+	10,4	10,6	10,7
R20	Inverno	2,5	1,9	1,7	-0,6	-0,1	-	1,7	1,5	1,4
[giorni]	Primavera	2,1	2,0	1,9	-0,2	-0,1	-	1,9	1,8	1,7
	Estate	2,1	1,9	2,0	-0,2	0,1	-	1,8	1,7	1,6
	Autunno	4,3	4,7	4,8	0,4	0,0	+	5,3	5,5	5,7

Tableau 33.11 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future des jours R20.

Jours avec précipitations supérieures ou égales à 50 mm (R50)

Les différentes stations ne s'accordent que sur une tendance annuelle à la baisse ; pour les autres intervalles de temps, en moyenne spatiale, on observe une tendance à la baisse au printemps, une croissance en automne et un état stationnaire en hiver et en été.

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
Media stazioni	Anno	0,9	1,0	0,9	0,0	0,0	-	1,2	1,2	0,7
R50	Inverno	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	+	0,1	0,1	0,1
[giorni]	Primavera	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-0,1
	Estate	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	-	0,2	0,2	0,2
	Autunno	0,5	0,6	0,7	0,1	0,0	+	0,8	0,9	1,0

Tableau 33.12 - Valeurs climatologiques (moyenne des différentes stations), tendance et prévision linéaire future des jours R50.

3.4.1. Précipitations maximales quotidiennes

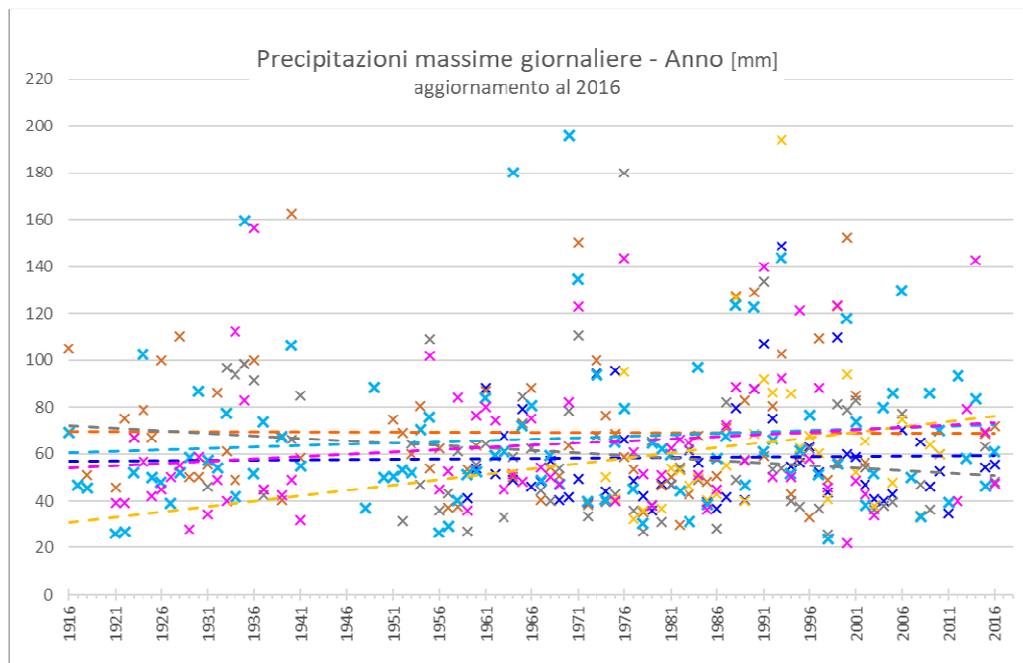
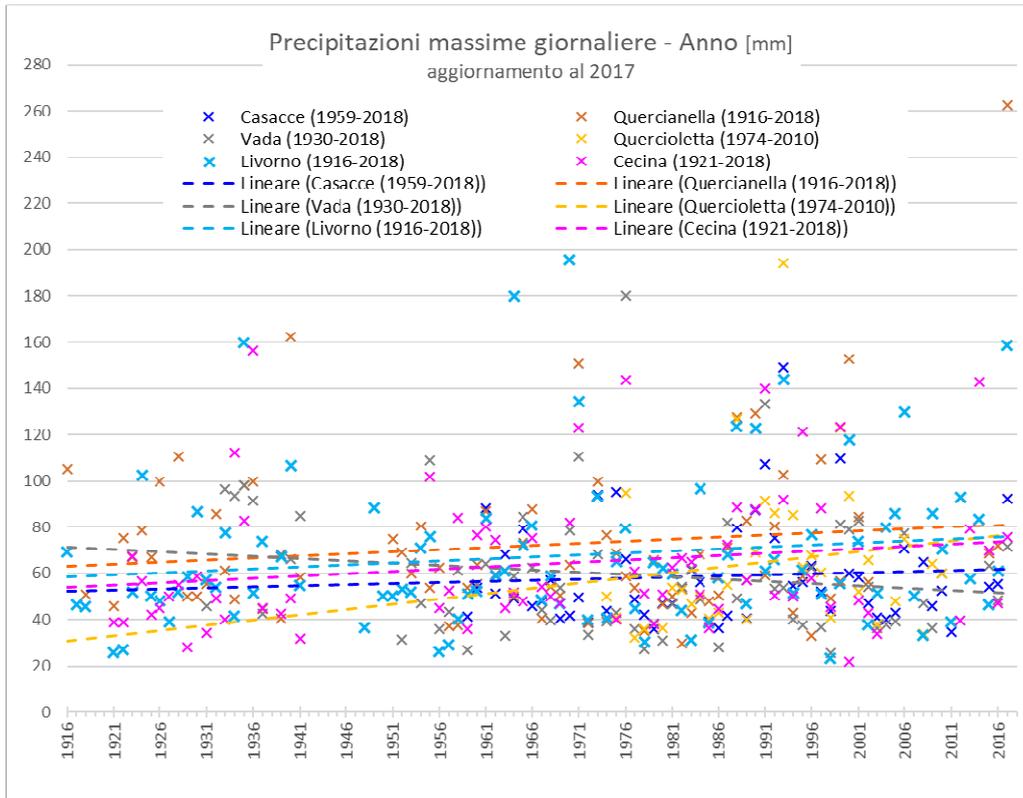
Les maxima quotidiens ont une grande variabilité spatiale, la moyenne spatiale n'a donc pas de signification statistique. Toutefois, cette moyenne montre une augmentation générale des précipitations quotidiennes maximales annuelles, hivernales et automnales et une diminution au printemps et en été. Il est intéressant de souligner le fait qu'en ce qui concerne cet indicateur climatique et les différentes stations analysées, les seules tendances statistiquement significatives sont celles liées à la diminution hivernale et printanière pour la station de Quercianella.

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Media stazioni</i> P massime giornaliere [mm]	Anno	60,5	64,8	62,0	4,3	-2,8	+		70,2	72,9	75,5
	Inverno	32,5	30,3	32,3	-2,1	2,0	+		33,5	34,3	35,1
	Primavera	30,5	29,2	29,8	-1,3	0,6	-		29,3	28,8	28,4
	Estate	35,7	35,0	29,6	-0,7	-5,4	-		26,0	23,4	20,7
	Autunno	51,5	57,8	56,6	6,3	-1,2	+		62,7	65,2	67,7
<i>Casacce</i> P massime giornaliere [mm]	Anno	55,8	62,5	61,3	6,7	-1,2	+	NS	63,5	65,4	67,2
	Inverno	34,1	31,1	31,0	-3,0	-0,1	-	NS	27,6	25,0	22,4
	Primavera	29,7	28,3	28,9	-1,3	0,6	-	NS	26,7	25,4	24,1
	Estate	33,2	33,5	28,7	0,3	-4,8	-	NS	22,4	19,1	15,8
	Autunno	49,2	57,9	58,8	8,7	0,9	+	NS	64,8	69,1	73,4
<i>Quercianella</i> P massime giornaliere [mm]	Anno	67,6	71,2		3,6		+	NS	84,5	88,1	91,7
	Inverno	32,1	31,1		-1,0		-	S	22,9	19,3	15,6
	Primavera	32,9	31,1		-1,8		-	S	25,6	22,8	20,1
	Estate	37,9	36,4		-1,5		-	NS	32,6	31,7	30,8
	Autunno	56,9	63,0		6,0		+	NS	78,8	83,4	88,0
<i>Vada</i> P massime giornaliere [mm]	Anno	58,0	58,8	56,2	0,8	-2,7	-	NS	48,0	44,1	40,3
	Inverno	31,2	29,9	33,4	-1,3	3,5	+	NS	35,8	37,4	39,0
	Primavera	29,1	25,7	27,5	-3,4	1,8	-	NS	24,3	22,7	21,1
	Estate	36,0	37,2	29,5	1,1	-7,7	+	NS	31,2	31,3	31,3
	Autunno	48,3	49,6	49,9	1,4	0,2	-	NS	36,7	31,7	26,7
<i>Quercioletta</i> P massime giornaliere [mm]	Anno		66,5	68,5		2,0	+	NS	84,8	93,8	102,9
	Inverno		29,2	32,4		3,2	+	NS	47,7	55,5	63,2
	Primavera		31,8	33,0		1,2	+	NS	40,5	44,4	48,3
	Estate		32,9	30,4		-2,5	-	NS	17,9	11,5	5,1
	Autunno		60,8	61,2		0,5	+	NS	70,5	76,6	82,7

Tableau 33.13 - Valeurs climatologiques, tendances et prévisions linéaires futures des précipitations maximales quotidiennes.

Afin de mettre en évidence la variabilité spatiale et temporelle du territoire communal, on compare les précipitations maximales quotidiennes enregistrées aux différentes stations et leur évolution dans le temps. On peut voir que, même pour les précipitations maximales, Vada est, en moyenne, la station qui a enregistré les valeurs les plus faibles. Du point de vue temporel, comme déjà mentionné ci-dessus, la pluviométrie annuelle maximale tend à augmenter légèrement, cependant, l'analyse temporelle avec un taux annuel est fortement influencée par la présence d'éventuelles valeurs *aberrantes*, comme par exemple pour la station de Quercianella, pour laquelle la tendance positive est donnée exclusivement par l'événement pluvieux exceptionnel du 10 septembre 2017, au cours duquel il y a eu une intensité de pluie caractérisée par un temps de retour d'environ 1000 ans (beaucoup plus long que la période des observations disponibles). Sans cet événement, la tendance moyenne sur une période observée d'environ un siècle aurait été stationnaire. La même considération peut être faite, de façon moins marquée, également pour les autres stations (voir les graphiques suivants pour comparaison). Par conséquent, comme la tendance est largement déterminée par la présence d'une seule valeur aberrante, elle est actuellement incertaine et doit donc être confirmée ou corrigée dans les années à venir. Afin d'atténuer l'influence d'éventuelles valeurs aberrantes, une analyse des précipitations maximales selon la méthode de la moyenne mobile a été effectuée dans le paragraphe suivant.

Les valeurs numériques à partir desquelles les graphiques suivants ont été obtenus sont indiquées en annexe dans le *Tableau 44.29* à la page 83.



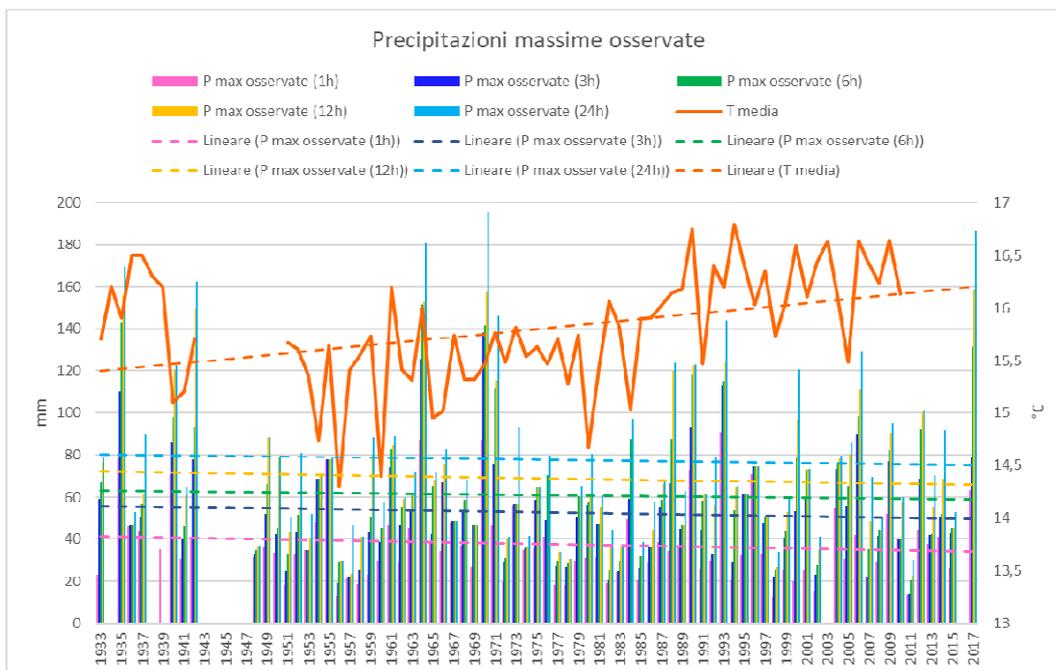
Graphique 3 - Variabilité spatiale et temporelle des précipitations maximales par rapport à l'événement exceptionnel du 10/09/2017 et sans celui-ci.

3.5. Précipitation d'intensité maximale

Compte tenu de l'importance des répercussions hydrauliques et hydrologiques causées par les fortes précipitations, l'étude est approfondie grâce au traitement statistique des données pluviométriques enregistrées par les stations de Livourne, Livourne Scuola et Livourne Mareografo. Ce sont les seules stations dont les ensembles de données couvrent ensemble une période suffisamment longue pour une étude statistique. Les données examinées sont les hauteurs maximales annuelles de pluie survenant sur différents intervalles de temps (1, 3, 6, 12 et 24 heures), et représentent donc des précipitations maximales (voir l'annexe le *Tableau 44.30* page 85) . Afin de pouvoir rendre compte des résultats ainsi obtenus sur le territoire de Rosignano, étant donné que les précipitations sont légèrement plus élevées à Livourne, un facteur d'échelle est calculé. En particulier, on peut supposer que les précipitations maximales quotidiennes, dont nous avons observé les données aux stations de Livourne et de Rosignano, sont représentatives de la tendance des précipitations maximales sur 24 heures, et permettent donc d'échelonner les précipitations maximales sur les différentes durées enregistrées.

Malheureusement, n'ayant qu'une seule précipitation maximale intense par année, pour chaque durée de temps, il n'est pas possible de savoir s'il y a eu d'autres phénomènes d'égale intensité au cours de la même année ou si seul l'épisode rapporté s'est produit. Les statistiques de ces indices ne permettent donc pas de décrire comment la fréquence des événements extrêmes varie. Néanmoins, elle donne une indication de la façon dont l'intensité maximale des précipitations sur un intervalle donné a varié dans le temps, année après année. Il est signalé dans le *Graphique 4* la tendance historique observée des précipitations maximales, ainsi que celle de la température. Une comparaison des précipitations et des températures enregistrées montre que les années où les températures moyennes sont plus élevées correspondent à des intensités de précipitations plus élevées.

Afin de mieux saisir la tendance temporelle des précipitations maximales, en éliminant l'effet de perturbation dû aux fluctuations à court terme, la méthode de la moyenne mobile sera appliquée par la suite.



Graphique 4 - Série historique avec les tendances des précipitations maximales observées sur 1, 3, 6, 12, 24 heures et la température moyenne pour les stations de Livourne.

Anni osservati	84	Precipitazioni di massima intensità					T media		
		1 h	3 h	6 h	12 h	24 h			
Valore da regressione	1933	40	56	63	72	80	mm	15,5	°C
	2017	34	50	59	66	75	mm	16	°C
Variazione osservata		-15,0	-10,7	-6,3	-8,3	-6,3	%	3,2	%
		-0,18	-0,13	-0,08	-0,10	-0,07	%/anno	0,04	%/anno
		-6,0	-6,0	-4,0	-6,0	-5,0	mm	0,5	°C
		-0,07	-0,07	-0,05	-0,07	-0,06	mm/anno	0,01	°C/anno

Tableau 33.14 - Calcul des variations et du taux de variation annuel moyen observé pour les précipitations d'intensité maximale et la température moyenne sur la période 1933-2017 pour les stations de Livourne.

L'analyse temporelle pour la période 1933-2017², couvrant plus de quatre-vingts ans, montre une diminution générale de l'intensité des précipitations annuelles maximales par intervalles de 1, 3, 6, 12, 24 heures, ainsi qu'une augmentation légère, mais statistiquement significative, de la température moyenne (+3 %). Cependant, le test de signification de la série observée de précipitations d'intensité maximale n'a pas montré une signification statistique des différentes tendances, on ne peut donc pas

2

Dans l'analyse des précipitations journalières maximales (§0) (obtenues à partir des données de précipitations quotidiennes), la période d'observation disponible était 1916-2017, toute différence dans le schéma temporel est due à la différence de la période d'étude.

dire qu'il y a eu une diminution statistiquement significative de l'intensité des précipitations, mais on peut dire que, dans la période 1933-2017 et en présence d'une augmentation statistiquement significative de la température, aucune augmentation de l'intensité des précipitations n'a été enregistrée.

Par la méthode Gumbel (voir paragraphe 0, *Analyse statistique de Gumbel à la page 48 pour des clarifications sur la méthodologie*), les hauteurs maximales des précipitations ont également été estimées pour les différentes durées et associées à différents temps de retour pour les stations de Livourne. Afin de trouver les mêmes hauteurs sur Rosignano, ne disposant pas des données de départ, les mesures enregistrées pour Livourne ont été mises à l'échelle avec un facteur d'échelle calculé sur la moyenne climatologique de la période 1981-2010 des précipitations journalières maximales, dont nous disposons pour les deux localités.

MASSIMI PRECIPITAZIONE [mm] Livorno (1933-2017)					
Tr	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<i>[anni]</i>	$x(Tr) = N + 1/\alpha * Y$				
2	34,6	48,4	56,0	63,4	71,3
5	50,6	70,3	82,4	93,1	104,8
10	61,2	84,8	99,9	112,7	127,1
25	74,6	103,1	121,9	137,6	155,1
30	77,2	106,7	126,3	142,4	160,6
50	84,5	116,7	138,3	156,0	176,0
100	94,4	130,1	154,6	174,3	196,6
200	104,2	143,6	170,8	192,5	217,2
500	117,2	161,3	192,2	216,5	244,4
1000	127,0	174,7	208,3	234,7	265,0
Dev. st. σ	18,1	24,8	29,9	33,6	38,0

Tableau 33.15 - Hauteurs maximales de pluie pour des intervalles et des temps de retour donnés, calculées sur la période 1933-2017 et pour les stations de Livourne.

Fattori di scala % Rosignano rispetto Livorno	P max giornaliera
	<i>[mm]</i>
Livorno (media 1981-2010)	69,8
Rosignano (media 1981-2010)	62,0
% Rosignano vs Livorno	-12,7

Tableau 33.16 - Détermination du facteur d'échelle pour traduire les résultats obtenus pour Livourne dans le territoire de Rosignano.

MASSIMI DI PRECIPITAZIONE [mm] Rosignano (1933-2017)

Tr	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
[anni]	$x (Tr) = N + 1/\alpha * Y$				
2	30,2	41,6	48,1	54,5	61,2
5	44,2	61,1	71,6	81,0	91,2
10	53,4	74,1	87,2	98,5	111,0
25	65,2	90,4	106,9	120,6	136,0
30	67,4	93,6	110,8	124,9	140,9
50	73,8	102,6	121,5	137,0	154,6
100	82,5	114,6	136,0	153,3	173,0
200	91,0	126,6	150,4	169,6	191,4
500	102,4	142,4	169,5	191,0	215,6
1000	110,9	154,4	183,9	207,2	233,9
Dev. st. σ	15,8	22,1	26,6	29,9	33,9

Tableau 33.17 - Hauteurs maximales de pluie pour les intervalles de données et les temps de retour, montées à partir de Livourne et valables pour le territoire de Rosignano.

Les données enregistrées pour les précipitations d'intensité maximale peuvent également être utilisées pour calculer la distribution mensuelle des événements de précipitations annuelles maximales, ce qui montre comment ils se sont produits le plus souvent pendant les mois d'automne, et en particulier en septembre et octobre, alors que les mois qui ont enregistré le moins d'événements sont janvier, février et mars.

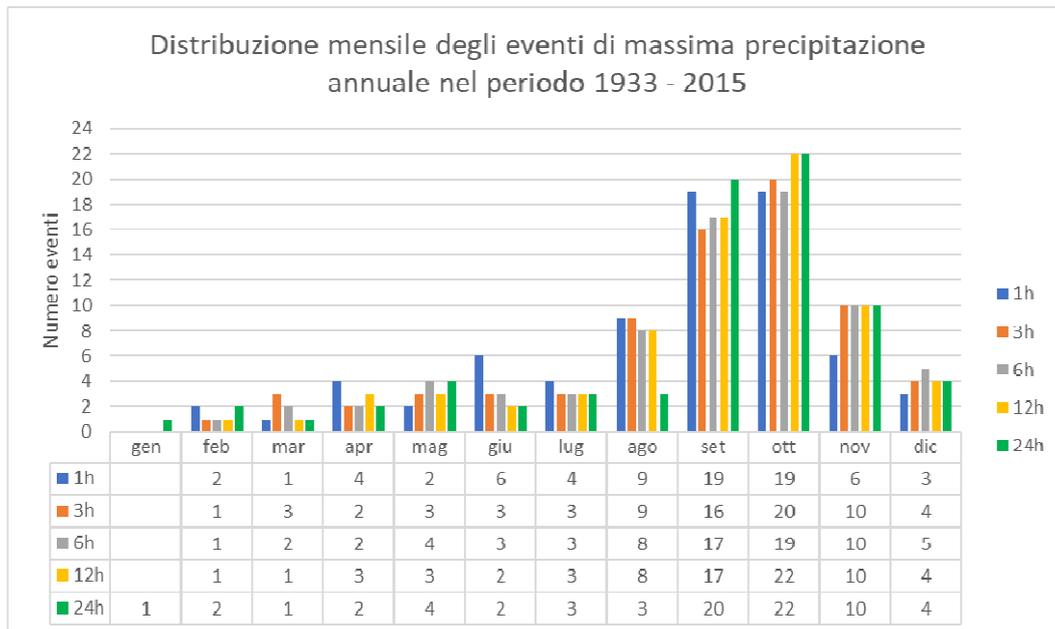


Tableau 33.18 - Répartition mensuelle des événements de précipitations annuelles maximales, pour les différentes durées de 1, 3, 6, 12, 24 heures.

Afin de pouvoir comparer les extrêmes des pluies avec ceux de la sécheresse, la même analyse a été effectuée pour la tendance mensuelle des jours consécutifs non pluvieux (CDD), dont on peut voir des valeurs plus élevées pour les mois de juillet et août et il est confirmé qu'il pleut moins à Rosignano qu'à Livourne. La distribution mensuelle des valeurs moyennes des différentes stations de la zone de Rosignano est en effet de forme similaire, mais toujours supérieure aux valeurs observées à Livourne.

CDD	Stazioni Rosignano					Livorno
	Casacce	Quercianella	Vada	Quercioletta	Media	
Mese	Media [giorni]	Media [giorni]	Media [giorni]	Media [giorni]	Media [giorni]	Media [giorni]
gen	5,9	5,8	4,9	6,2	5,7	5,1
feb	7,1	7,1	5,7	6,9	6,7	5,7
mar	7,9	8,1	7,1	6,4	7,4	6,0
apr	6,5	8,2	5,7	4,9	6,3	5,1
mag	8,3	9,9	6,3	6,5	7,8	6,0
giu	10,6	12,4	9,2	10,1	10,6	8,5
lug	16,6	19,1	16,1	16,2	17,0	14,9
ago	15,8	20,1	17,0	16,0	17,2	16,0
set	10,4	12,4	10,9	10,0	10,9	7,0
ott	5,0	7,9	8,0	6,8	6,9	4,6
nov	3,7	7,3	6,6	6,9	6,1	3,8
dic	3,9	8,0	5,1	4,6	5,4	4,5

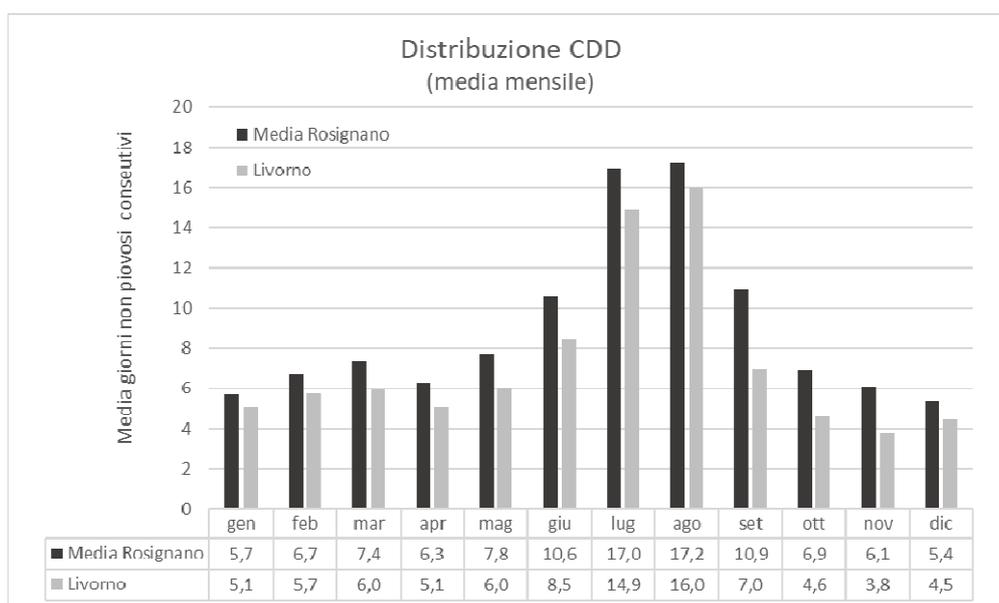


Figure 3.19 - Répartition mensuelle des CDD (jours consécutifs non pluvieux) pour le territoire de Rosignano et Livourne.

Méthode de la moyenne mobile

Le premier traitement de données consiste à calculer une moyenne mobile avec fenêtre temporelle (*fenêtre mobile*) de trente ans ($k=30$); cette solution diffère donc du traitement précédent effectué sur les données relatives à la pluviométrie journalière cumulée, dans lequel la tendance dans le temps était mise en évidence par une simple interpolation linéaire des valeurs moyennes annuelles. L'utilisation d'un *échantillon mobile* consiste donc à calculer la moyenne arithmétique relative à chaque sous-échantillon, qui est différente, même si en petite partie, de la précédente, mais qui a toujours des dimensions constantes. La succession des moyennes de cet échantillon mobile est, en fait, la *moyenne mobile*. L'égalisation d'une courbe avec la moyenne mobile présente l'avantage, par rapport à l'adaptation d'une courbe analytique de type mathématique, d'une rigidité moindre : en général, l'égalisation de la courbe avec la moyenne mobile est mieux adaptée aux particularités de la courbe réelle. La moyenne mobile diminue significativement la variabilité aléatoire des données individuelles et met donc en évidence la tendance sous-jacente, déterminée précisément par les variations systématiques de la quantité moyenne, en maintenant la variabilité de la moyenne k des données, donc sans l'éliminer complètement. En outre, il s'agit d'une simple statistique descriptive ; elle n'exige donc pas que les conditions nécessaires à la validité d'une ligne droite ou d'une courbe de régression soient remplies, lorsqu'elle est calculée à l'aide de méthodes paramétriques, par exemple sur la distribution des données. Cette méthode, pour une analyse détaillée, nécessite un ensemble de données assez long, car aucune valeur moyenne ne sera associée aux premières $k-1$ années de données.

3.5.1. Analyse statistique de Gumbel

Methodologie

Les élaborations statistiques des données hydrologiques sont basées sur l'hypothèse que ces données suivent certaines distributions statistiques d'une équation connue et sur la détermination des paramètres à partir de l'échantillon d'observations disponible.

En ce qui concerne l'intensité maximale des précipitations, la méthode de la moyenne mobile a également été appliquée dans le calcul des quantités maximales relatives avec un certain temps de retour, afin de mettre en évidence les éventuelles tendances et d'en tirer des valeurs futures indicatives. Pour l'étude des quantités maximales associées à un temps de retour, l'analyse statistique de Gumbel a été utilisée, c'est-à-dire le calcul des paramètres de distribution, en se référant toujours à la moyenne mobile, le choix du temps de retour et l'obtention de la quantité maximale relative avec la probabilité de dépasser le temps de retour.

Compte tenu du T_r temps de retour de la valeur x d'une grandeur hydrologique donnée, les grandeurs suivantes peuvent être définies :

Probabilité de dépassement de x en un an	$P(x) = \frac{1}{T_r}$
Probabilité de ne pas dépasser x en un an	$\bar{P}(x) = 1 - P(x) = 1 - \frac{1}{T_r}$

Selon la distribution de Gumbel, également appelée *valeur extrême*, la probabilité de ne pas être dépassé est liée à la y variable réduite de la distribution :

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

dont nous dérivons :

$$y = -\ln[-\ln(x)]$$

La valeur x de la quantité hydrologique, avec le temps de retour T_r , est liée à la y seconde :

$$x(T_r) = v + \frac{1}{\alpha} y$$

v et $1/\alpha$ étant les paramètres de distribution, estimés par la méthode des moments et en fonction de la moyenne et de l'écart quadratique moyen des données de l'échantillon.

Moyenne	$\mu = \frac{\sum x_i}{n}$
Rejet moyen quadrillé	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$
Valeur dominante ou normale (interception)	$v = \mu - 0,45$
Pente droite	$\frac{1}{\alpha} = 0,7797$

Résultats

Par conséquent, en fixant un temps de retour spécifique, la quantité maximale associée est obtenue, par rapport à une seule durée de pluie. En ce qui concerne les données de température, elles n'ont pas été associées à la distribution de Gumbel, mais seulement à la valeur de la moyenne mobile sur trente ans. Afin de pouvoir comparer les données ainsi obtenues, relatives aux précipitations d'intensité maximale, avec les données et estimations futures, basées sur les précipitations cumulées quotidiennes, l'analyse de Gumbel a également été effectuée à partir de ces dernières, en ce qui concerne les mêmes stations de Livourne où les valeurs maximales de précipitations déjà traitées ont été observées. Par conséquent, les valeurs maximales associées à un temps de retour donné des quantités suivantes ont également été obtenues : précipitations cumulées annuelles, précipitations quotidiennes maximales annuelles, jours non pluvieux annuels (NP), nombre maximal de jours non pluvieux annuels consécutifs (CDD).

Les résultats pour les précipitations d'intensité maximale ont ensuite été mis à l'échelle sur le territoire de Rosignano en déterminant un facteur d'échelle qui reflète la tendance actuelle des précipitations, obtenue en comparant les moyennes des trente dernières années (1981-2010) enregistrées sur Livourne et en moyenne des différentes stations sur le territoire de Rosignano (*voir le Tableau 33.16*).

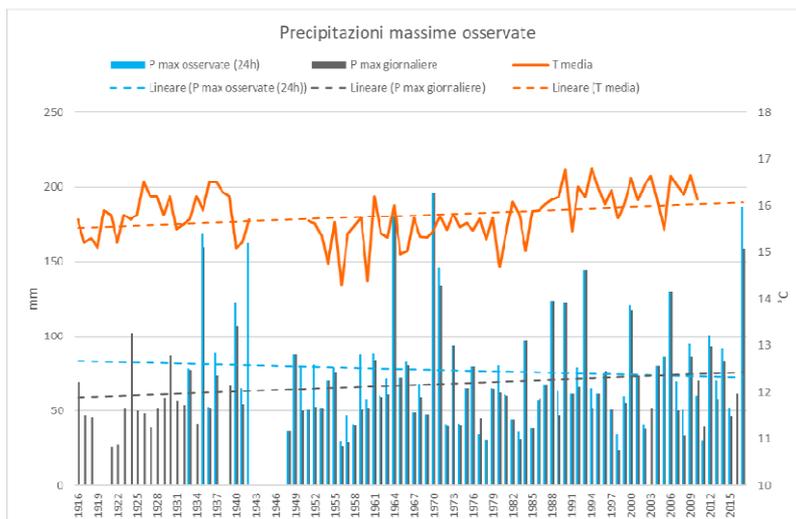
Pour un temps de retour de 30 ans, les résultats (*Graphique 7 et d'autres graphiques et tableaux en annexe à partir de la p.87*) montrent une diminution des valeurs obtenues avec Gumbel en moyenne mobile pour les précipitations d'intensité maximale sur toutes les durées de 1, 3, 6, 12 et 24 heures, ainsi qu'une augmentation de la moyenne mobile observée pour les températures. Cela montre que, dans un scénario historique de réchauffement climatique (une augmentation moyenne de la température de 0,6 °C sur 30 ans entre 1933-1962 et 1988-2017), l'intensité des précipitations maximales n'a pas augmenté, mais a légèrement diminué, bien que cela ne soit pas statistiquement significatif.

Les analyses statistiques utilisant la méthode de Gumbel sur la moyenne mobile des précipitations annuelles cumulées et le nombre de jours secs consécutifs (CDD) montrent également une tendance négative, la seconde n'étant pas statistiquement significative, tandis qu'il y a une tendance positive dans la quantité de précipitations quotidiennes maximales et le nombre de jours non pluvieux par an. Comme expliqué ci-dessus, la série des précipitations quotidiennes cumulées, dont est dérivé le

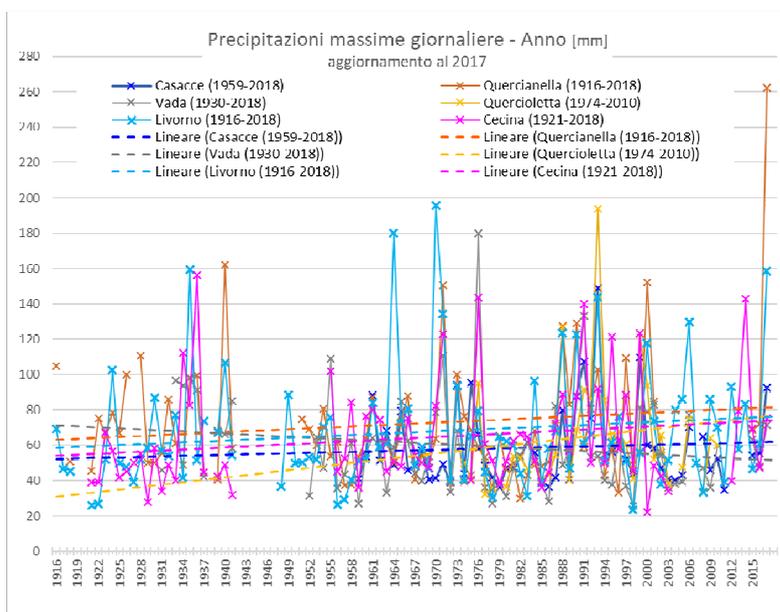
maximum quotidien des précipitations, couvre une période différente de la série des précipitations maximales sur des durées prédéterminées.

L'augmentation de la pluviosité maximale quotidienne, qui peut sembler être en contraste avec la diminution de la pluviosité maximale sur 24 heures, est due à ce décalage des périodes d'observation. En comparant les deux périodes, limitant ainsi l'ensemble des données sur les précipitations quotidiennes cumulées de 1916-2017 à 1933-2017, au cours desquelles le maximum des précipitations sur 24 heures a été traité, la tendance des précipitations quotidiennes maximales montre également, comme on peut s'y attendre, une diminution.

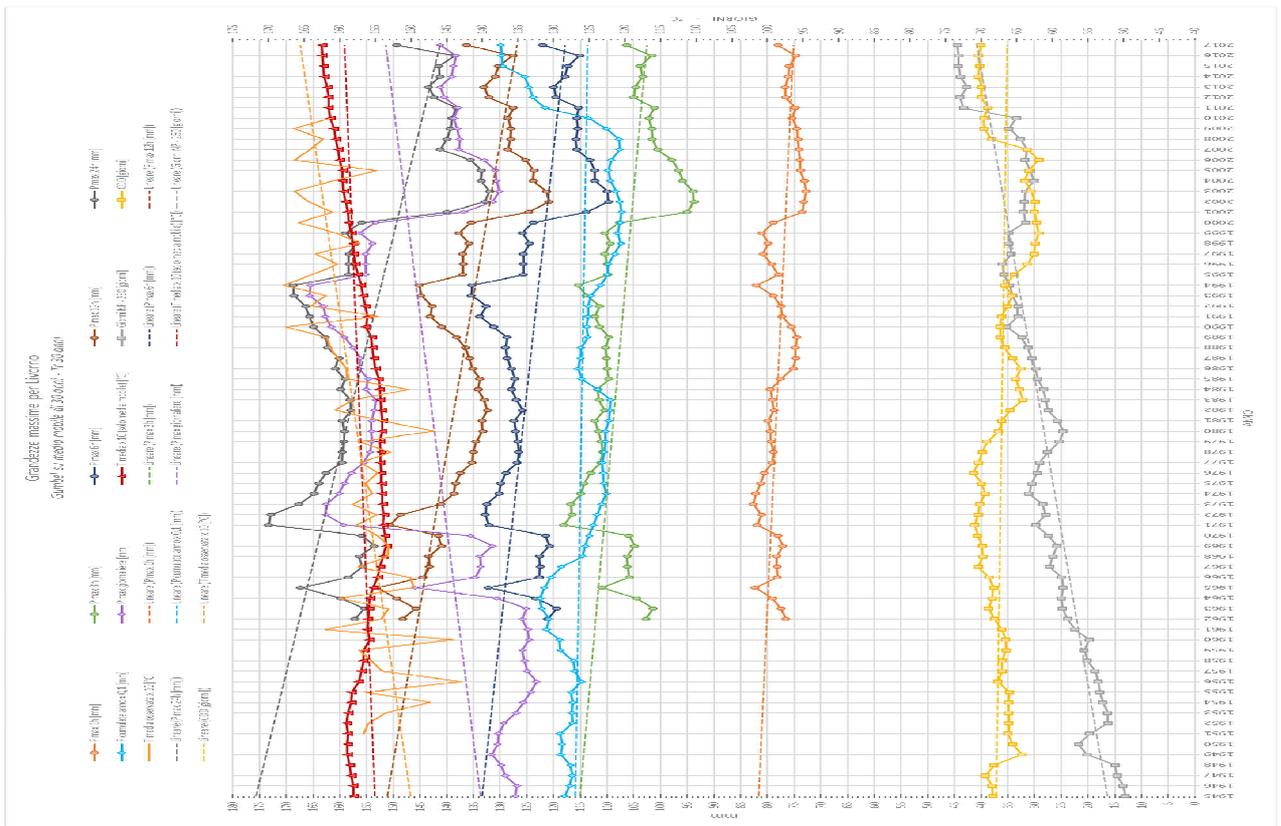
La période d'observation a donc varié de quelques années et un renversement de tendance a été constaté (*voir également le Graphique 5 (pour les valeurs simples observées)*), au moins pour les précipitations tombant sur un intervalle de temps quotidien. Dans les deux cas, les tendances ne sont pas statistiquement significatives. Ce résultat peut signifier que les variations sont le résultat d'une variabilité climatique normale et qu'elles sont restées stationnaires en moyenne. Cela est évident non seulement dans les résultats du traitement des médias mobiles de Gumbel (*Graphique 7*), même de *Graphique 6* concernant les précipitations observées (et non traitées avec Gumbel), dans laquelle on note que des événements de plus grande intensité se sont produits au tournant des années soixante-dix et quatre-vingt-dix, pour retomber à des valeurs beaucoup plus faibles dans la décennie suivante ; pour l'instant, il semble que ce soit le début d'une phase d'augmentation qui, cependant, est encore bien en dessous des valeurs maximales déjà connues dans le passé (sauf pour l'événement exceptionnel enregistré par la station de Quercianella le 10/09/2017, qui est le plus important de toute la série). Certaines de ces particularités se retrouvent également dans la région de Lucques, analysées à des fins de comparaison et signalées dans le *Graphique 14* dans l'annexe.



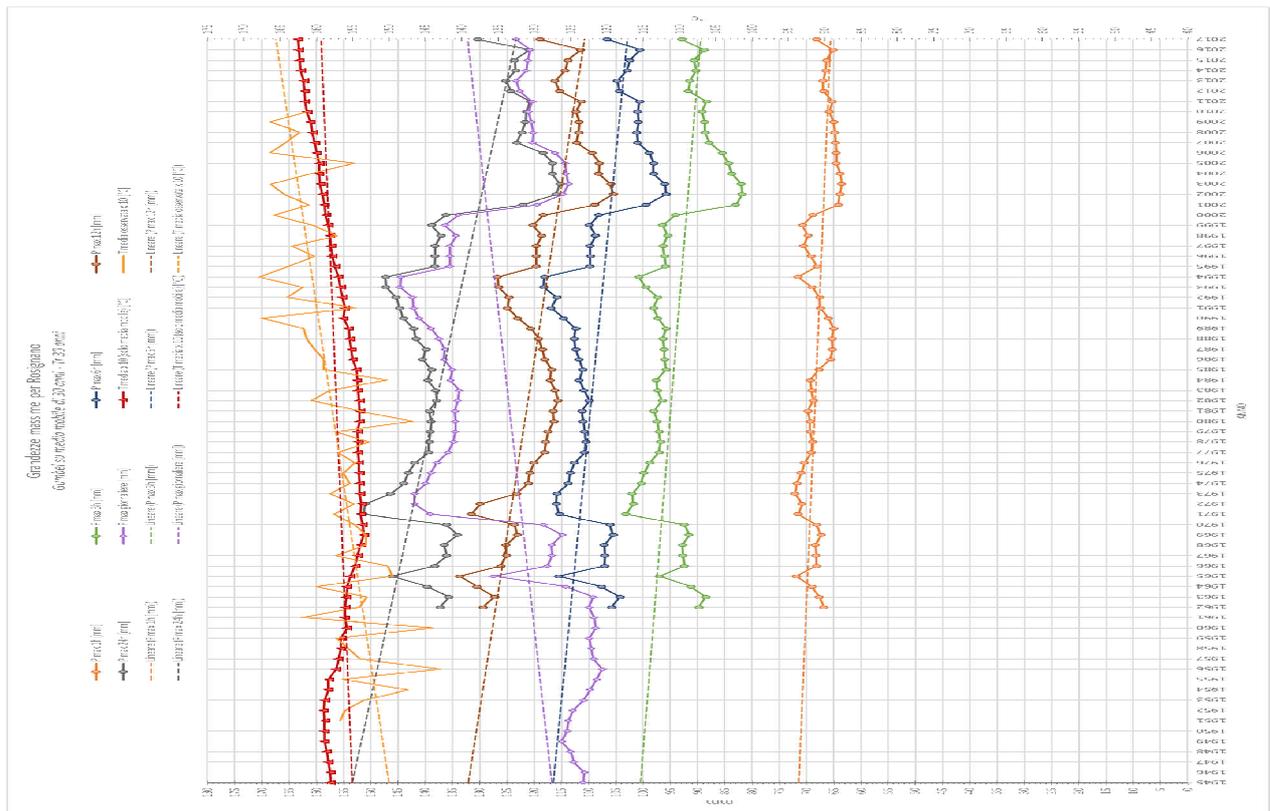
Graphique 5 - Changement de tendance, que la période de données 1916-1932 soit incluse ou non.



Graphique 6 - Tendence des maxima de précipitations journalières (de Graphique 3).



Graphique 7 - Tendence historique comparée pour les différentes élaborations effectuées : précipitations maximales, cumul des précipitations, jours non pluvieux et CDD annuel (moyenne mobile sur trente ans) pour un temps de retour de 30 ans. Moyenne mobile sur trente ans et tendance de la température moyenne annuelle. Stations de Livourne.



Graphique 8 - Tendence historique des précipitations d'intensité maximale (moyenne mobile sur trente ans) pour un temps de retour de trente ans, remontée de Livourne sur Rosignano. Moyenne mobile sur trente ans et tendance de la température moyenne annuelle.

3.6. Températures moyennes

Les températures ont une variabilité spatiale inférieure à celle des précipitations, c'est pourquoi on suppose que les données de seulement deux stations ayant des séries de données assez longues sont représentatives du territoire municipal, et en particulier de la station de l'Observatoire de Livourne, car elles couvrent une période plus longue. Cette station montre une tendance à la hausse, presque toujours statistiquement significative, des températures moyennes, des maximums moyens et des minimums moyens dans l'année, en hiver, au printemps et en été, alors qu'il y a une tendance à la baisse dans la saison d'automne.

En comparant les données de la station de Livourne avec les données plus récentes de la station de Cecina, on obtient une situation similaire, à l'exception de la présence de tendances de croissance également en ce qui concerne les températures moyennes et minimales moyennes d'automne.

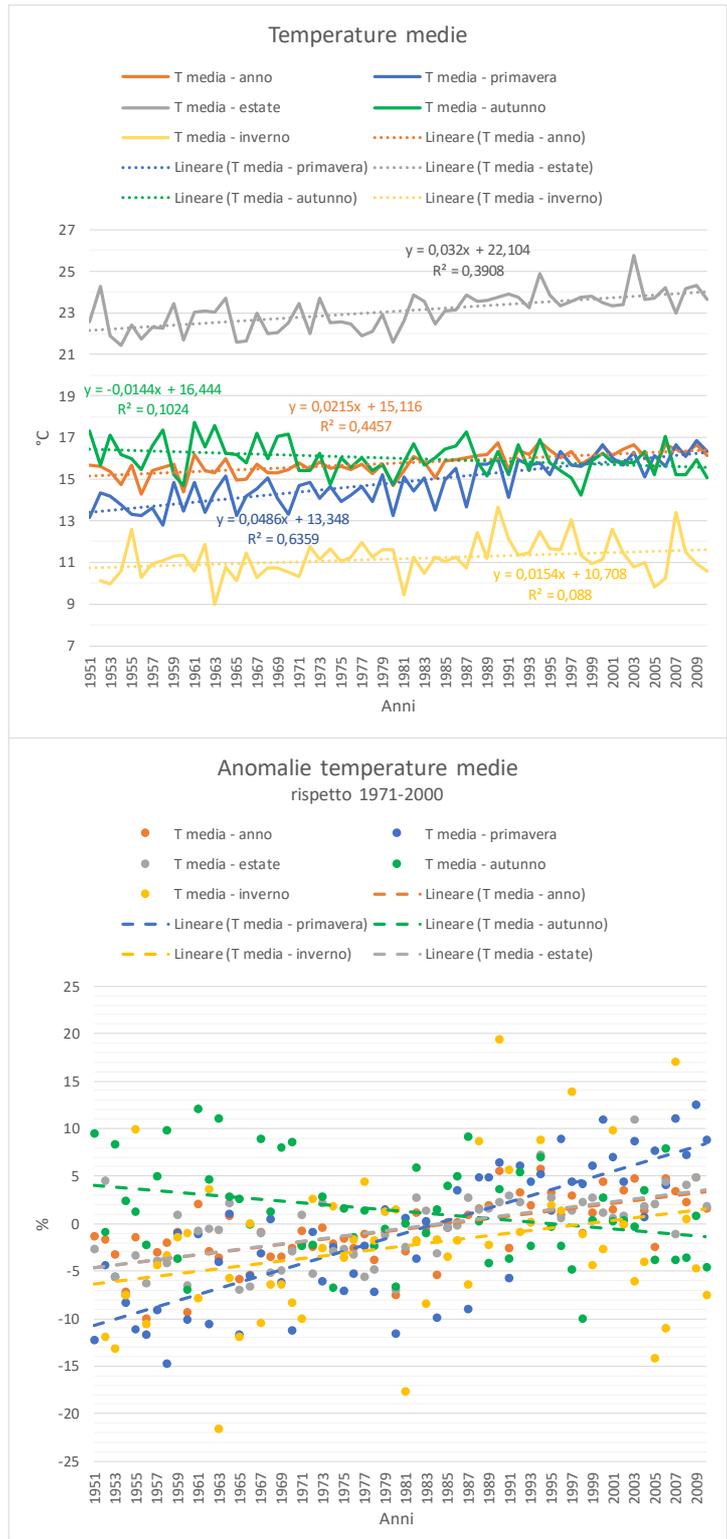
Pour l'analyse qui suivra, nous supposons comme données de base celles de la seule station de Livourne. Les données complètes et les graphiques de l'évolution historique des valeurs et des anomalies des températures moyennes, minimales et maximales sont présentés en annexe (§4.5).

Livorno osservatorio

1951-2010

		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Temperatura media [°C]	Anno	15,6	15,9	16,1	0,2	0,3	+	S	17,0	17,4	17,8
	Inverno	11,1	11,5	11,4	0,4	0,0	+	S	12,0	12,3	12,6
	Primavera	14,5	15,0	15,6	0,5	0,6	+	S	17,5	18,5	19,4
	Estate	22,8	23,2	23,7	0,4	0,5	+	S	24,8	25,5	26,1
	Autunno	16,2	15,8	15,9	-0,4	0,1	-	S	15,2	14,9	14,6
Temperatura massima media [°C]	Anno	19,0	19,3	19,5	0,3	0,3	+	S	20,3	20,7	21,1
	Inverno	16,3	16,7	16,7	0,4	0,1	+	NS	17,1	17,3	17,6
	Primavera	17,9	18,4	19,0	0,5	0,6	+	S	20,8	21,6	22,5
	Estate	26,4	26,8	27,3	0,5	0,5	+	S	28,4	29,0	29,6
	Autunno	19,6	19,2	19,3	-0,4	0,1	-	S	18,5	18,2	17,8
Temperatura minima media [°C]	Anno	12,3	12,5	12,7	0,2	0,2	+	S	13,6	14,1	14,6
	Inverno	5,9	6,2	6,1	0,4	-0,2	+	S	6,9	7,3	7,7
	Primavera	11,1	11,6	12,2	0,4	0,6	+	S	14,3	15,3	16,4
	Estate	19,2	19,6	20,0	0,3	0,5	+	S	21,3	22,0	22,7
	Autunno	12,7	12,4	12,5	-0,3	0,1	-	NS	11,9	11,7	11,4

Tableau 33.19 - Tableau de synthèse pour l'analyse des températures moyennes pour Livourne.



Graphique 9 - Tendence historique des températures moyennes et anomalies associées

3.7. Conclusions : projections futures

Les valeurs futures probables des différents indices de changement climatique ont été calculées en ajoutant aux moyennes climatologiques, calculées à partir de la série d'observations locales et expliquées dans le paragraphe précédent, les augmentations fournies par les études illustrées dans les paragraphes précédents. Les résultats des valeurs futures probables supposées par les indices climatiques dans les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sont présentés ici sous forme de tableau. En ce qui concerne les indices climatiques évalués qui revêtent une plus grande importance pour les études hydrologiques ultérieures, l'étude a été étudiée en profondeur dans les paragraphes suivants.

P cumulate [mm]	RCP4.5						RCP8.5					
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090	
	Anno	706,1	756,1	706,1	756,1	756,1	806,1	706,1	756,1	706,1	756,1	706,1
Media	731,1		731,1		781,1		731,1		731,1		731,1	
Trend	+						+					

P massime giornaliera [mm]	RCP4.5						RCP8.5					
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090	
	Anno	59,8	64,8	64,8	69,8	64,8	69,8	64,8	69,8	69,8	74,8	69,8
Media	62,3		67,3		67,3		67,3		72,3		72,3	
Trend	+						+					

CDD [giorni]	RCP4.5						RCP8.5					
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090	
	Anno	45,7	50,7	45,7	50,7	45,7	50,7	45,7	50,7	50,7	55,7	55,7
Media	48,2		48,2		48,2		48,2		53,2		58,2	
Trend	+						+					

CWD [giorni]	RCP4.5						RCP8.5					
	2011-2040		2041-2070		2071-2090		2011-2040		2041-2070		2071-2090	
	Anno	5,5		5,2		5,8		5,7		5,6		5,5
Trend	+						-					

SDII [mm/giorno]	RCP4.5						RCP8.5					
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090	
	Anno	10,4	10,9	10,4	10,9	10,9	11,4	10,4	10,9	10,9	11,4	10,9
Media	10,7		10,7		11,2		10,7		11,2		11,2	
Trend	+						+					

Percentili [giorni/anno]	RCP4.5						RCP8.5					
	2011-2040		2041-2070		2071-2090		2011-2040		2041-2070		2071-2090	
	P90	10,8		11,5		11,1		10,0		11,3		12,2
Trend	+						+					
P99	1,2		1,3		1,3		1,3		1,3		1,4	
Trend	+						+					

R95p [mm]	RCP4.5						RCP8.5						
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090		
	Anno	213,0	218,0	218,0	223,0	218,0	223,0	218,0	223,0	218,0	223,0	218,0	223,0
	Media	215,5		220,5		220,5		220,5		220,5		220,5	
	Trend	+						+					

R10 [giorni]	RCP4.5						RCP8.5						
	2011-2040		2041-2070		2071-2090		2011-2040		2041-2070		2071-2090		
	Anno	24,5		24,5		25,5		25,7		24,5		24,2	
	Trend	+						-					

R20 [giorni]	RCP4.5						RCP8.5						
	2011-2040		2041-2070		2071-2090		2011-2040		2041-2070		2071-2090		
	Anno	10,9		11,6		11,4		11,4		11,0		11,9	
	Trend	+						+					

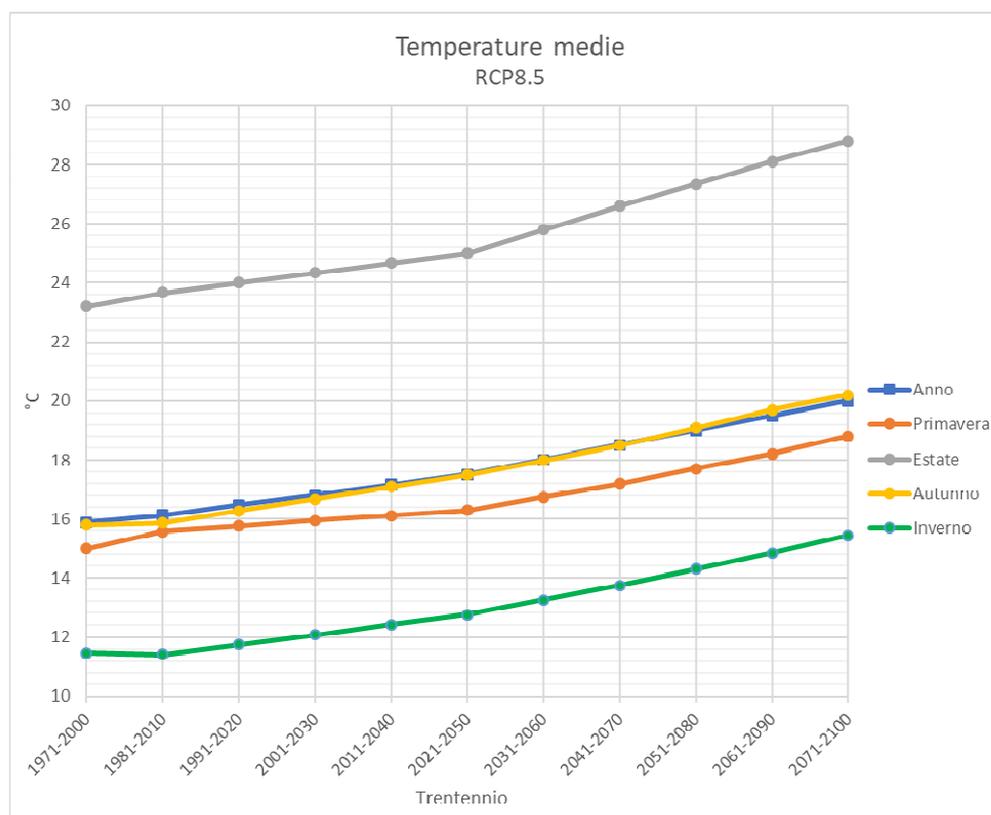
Temperatura media [°C]	RCP4.5						RCP8.5						
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2021-2050		2041-2070		2061-2090		
	Anno	17,1	17,4	17,6	17,9	17,9	18,1	17,4	17,6	18,4	18,6	19,4	19,6
	Media	17,3		17,8		18,0		17,5		18,5		19,5	
	Trend	+						+					

Tableau 33.20 - Valeurs futures probables des différents indicateurs climatiques pour le territoire de Rosignano Marittimo, pour trois horizons temporels et pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

Temperature moyennes

RCP8.5		Anno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
Fonte dato	Periodo	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
misure	1971-2000	15,9	15,0	23,2	15,8	11,5
	1981-2010	16,1	15,6	23,7	15,9	11,4
interpolazione	1991-2020	16,5	15,8	24,0	16,3	11,7
	2001-2030	16,8	15,9	24,3	16,7	12,1
	2011-2040	17,2	16,1	24,7	17,1	12,4
misure+studi	2021-2050	17,5	16,3	25,0	17,5	12,8
interpolazione	2031-2060	18,0	16,8	25,8	18,0	13,3
misure+studi	2041-2070	18,5	17,2	26,6	18,5	13,8
interpolazione	2051-2080	19,0	17,7	27,4	19,1	14,3
misure+studi	2061-2090	19,5	18,2	28,1	19,7	14,9
misure+studi	2071-2100	20,0	18,8	28,8	20,2	15,5

% variazione da 1981-2010	24	21	22	27	35
°C variazione da 1981-2010	4,1	3,8	5,6	4,4	4,0



Graphique 10 - Projections des températures moyennes pour Rosignano à divers horizons temporels et pour le scénario RCP8.5. Projections basées sur les anomalies futures estimées par le PNACC 2017 (voir **Erreur**. L'origine riferimento non è stata trovata. et **Erreur**. L'origine riferimento non è stata trovata.).

Précipitations moyennes

Les projections futures des précipitations annuelles cumulées sont obtenues, sous forme de moyenne sur trente ans, à partir de l'élaboration des valeurs indicatives fournies par les études de l'ISPRA et du PNACC (voir *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.* et *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.* p.**Errore. Il segnalibro non è definito.**) et des estimations dérivées des tendances locales. Les résultats prévoient une légère baisse annuelle, due à la tendance à la baisse du printemps et surtout de l'été, tandis que l'automne et l'hiver sont caractérisés par une augmentation de la moyenne cumulée.

Variazione prevista precipitazioni cumulate (vs 1971-2000)

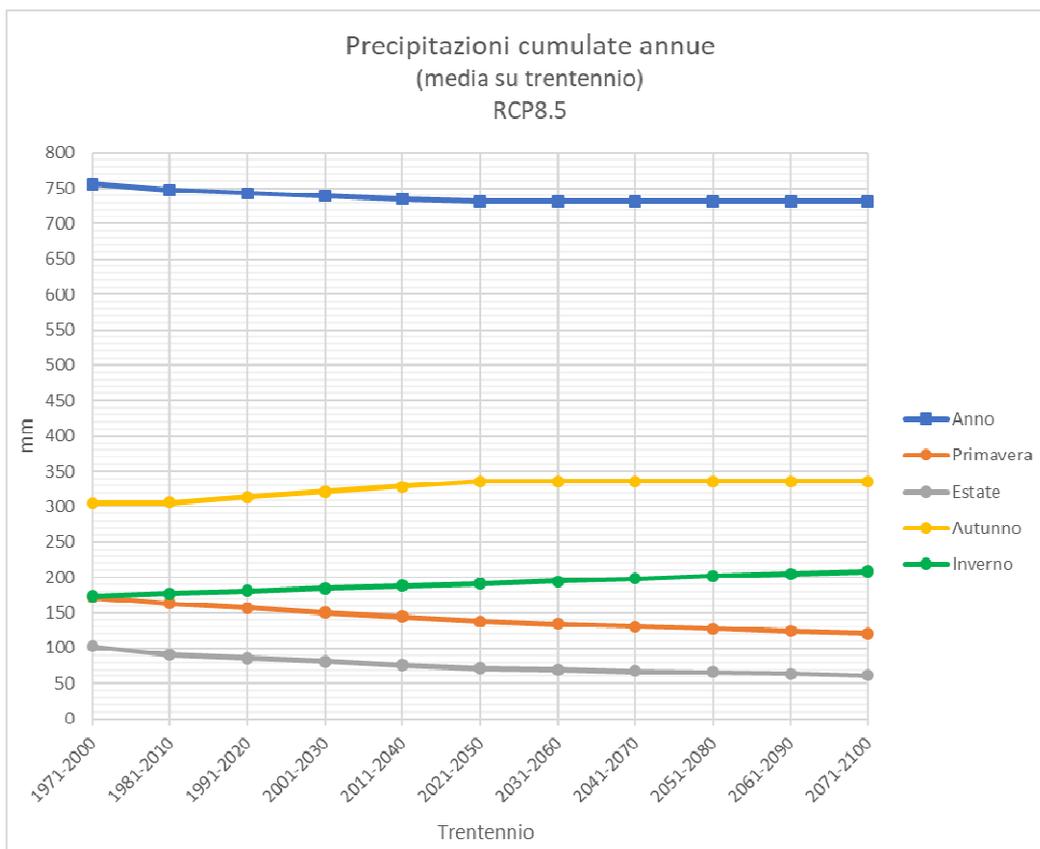
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	2021-2050		2041-2070		2061-2090		2071-2100	
Inverno	0	10	8	14	16	18	20	20
Primavera	0	-20	-4	-24	-8	-28	-10	-30
Estate	-20	-30	-24	-34	-28	-38	-30	-40
Autunno	10	10	10	10	10	10	10	10

Tableau 33.21 - Variations (%) des précipitations cumulées estimées pour le territoire de Rosignano pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

RCP8.5		Anno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
		Cum.	Cum.	Cum.	Cum.	Cum.
Fonte dato	Periodo	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
misure	1971-2000	756,1	172,6	102,7	305,4	173,9
	1981-2010	747,3	163,5	90,5	306,4	177,7
interpolazione	1991-2020	743,3	157,1	85,8	313,7	181,1
	2001-2030	739,2	150,8	81,2	321,1	184,5
	2011-2040	735,2	144,4	76,5	328,5	187,9
misure+studi	2021-2050	731,1	138,0	71,9	335,9	191,3
interpolazione	2031-2060	731,1	134,6	69,8	335,9	194,8
	2041-2070	731,1	131,1	67,8	335,9	198,3
	2051-2080	731,1	127,7	65,7	335,9	201,7
	2061-2090	731,1	124,2	63,7	335,9	205,2
misure+studi	2071-2100	731,1	120,8	61,6	335,9	208,7
% variazione da 1971-2000		-3	-30	-40	10	20
% variazione da 1981-2010		-2	-26	-32	10	17

	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	
	Periodo	%	%	%	%
Contributo al cumulado annuale	1981-2010	21,9	12,1	41,0	23,8
	2001-2030	20,4	11,0	43,4	25,0
	2021-2050	18,9	9,8	45,9	26,2
	2041-2070	17,9	9,3	45,9	27,1
	2061-2090	17,0	8,7	45,9	28,1

Tableau 33.22 - Précipitations annuelles cumulatives prévues pour le territoire de Rosignano et pour divers horizons temporels dans le scénario RCP8.5 ; contribution aux précipitations saisonnières cumulatives annuelles.



Graphique 11 - Projections des précipitations cumulées pour Rosignano à divers horizons temporels et pour le scénario RCP8.5.

Nombre de jours consécutifs sans pluie (CDD)

L'analyse du nombre maximum de jours secs consécutifs par an a été réalisée afin d'évaluer le phénomène de la sécheresse dans le temps. Les résultats du traitement historique, exprimés sous forme de moyenne spatiale des différentes stations de mesure, montrent que le nombre de jours consécutifs sans pluie diminue dans l'année et en été, alors qu'il augmente en hiver, au printemps et en automne. Les projections futures mises en évidence par les études scientifiques montrent une augmentation annuelle de cet indice. Afin de mieux adapter ces estimations au territoire de Rosignano, l'étude avec une plus faible augmentation de l'indice en question, l'étude ISPRA 2015, est prise en considération.

Studio	riferimento	RCP4.5			RCP8.5			
		2011-2040	2041-2070	2071-2090	2011-2040	2041-2070	2071-2090	
Zollo 2015	1981-2010	22	31	28	9	32	92	[%]
	CDD	51,2	55,0	53,7	45,8	55,4	80,6	giorni
ISPRA 2015	1971-2000	7,5	7,5	7,5	7,5	12,5	17,5	giorni
	CDD	48,2	48,2	48,2	48,2	53,2	58,2	giorni

Tableau 33.23 - Comparaison des valeurs possibles de CDD futures selon deux études scientifiques différentes.

RCP8.5		Anno
Fonte dato	Periodo	[giorni]
misure	1971-2000	40,7
	1981-2010	42,0
interpolazione	1991-2020	43,5
	2001-2030	45,1
	2011-2040	46,7
misure+studi	2021-2050	48,2
interpolazione	2031-2060	50,7
misure+studi	2041-2070	53,2
interpolazione	2051-2080	55,7
misure+studi	2061-2090	58,2
proiezione	2071-2100	60,7
% variazione da 1981-2010		39
gg variazione da 1981-2010		18

Tableau 33.24 - Tableau des projections CDD pour Rosignano à différents horizons temporels et pour le scénario RCP8.5. Projections basées sur les anomalies futures estimées par l'ISPRA 2015.

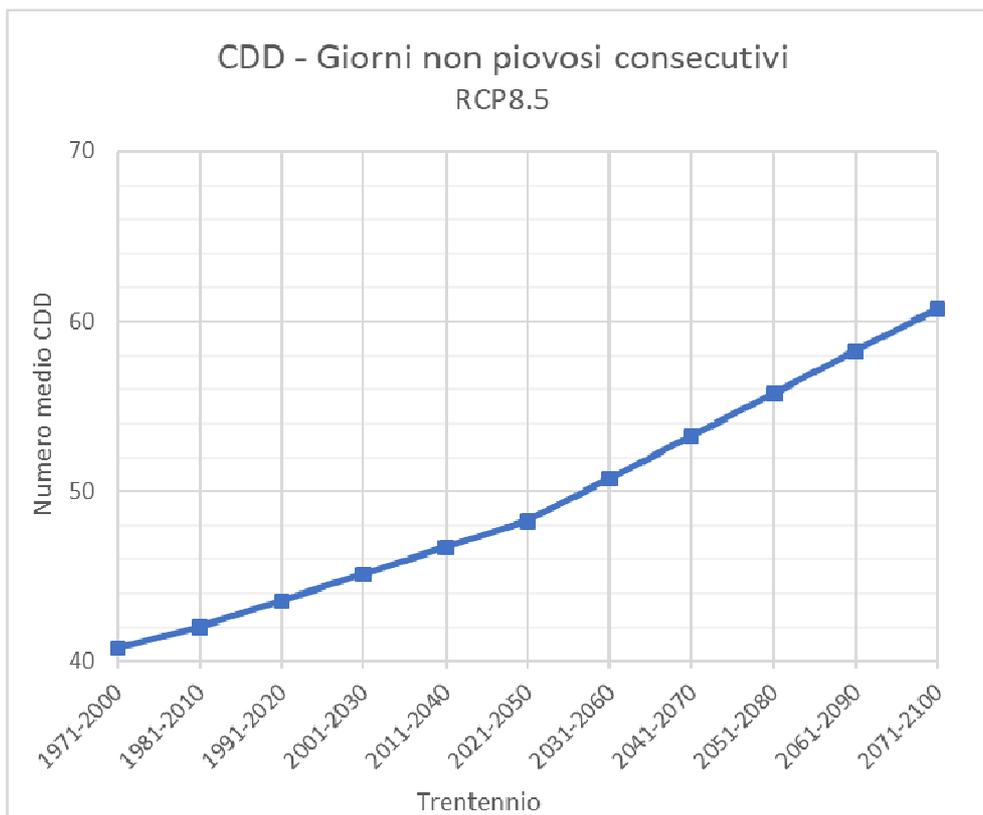


Figure 33.20 - Graphique des projections CDD pour Rosignano à différents horizons temporels et pour le scénario RCP8.5. Projections basées sur les anomalies futures estimées par l'ISPRA 2015.

En ce qui concerne la distribution mensuelle de cet indice, comme mentionné ci-dessus, pour le territoire de Rosignano, il semble probable qu'il diminue en été et augmente en hiver, au printemps et en automne. La distribution de Figure 3.19 va donc évoluer vers un probable aplatissement, l'été étant actuellement la saison où le nombre de CDD est le plus élevé.

Précipitation d'intensité maximale

En ce qui concerne l'intensité maximale des précipitations, les analyses effectuées et les résultats peuvent être résumés comme suit :

- la tendance historique des précipitations journalières annuelles maximales, pour toutes les stations analysées et pour la période (maximale) 1916-2017, montre une condition de légère croissance ou de stationnarité (à l'exception de la station de Vada qui montre une diminution marquée) (voir Graphique 3 p.34) ;
- la tendance historique des précipitations d'intensité maximale sur 1, 3, 6, 12, 24 heures, pour la seule station de Livourne et la période 1933-2017, montre un état décroissant (voir Graphique 4 p.44) ;
- le traitement par la méthode de Gumbel sur une moyenne mobile de trente ans pour un temps de retour de 30 ans, en ce qui concerne la station de Livourne, reflète la tendance historique des mesures observées, c'est-à-dire qu'il montre une croissance s'il est effectué sur la période 1916-2017 (disponible uniquement pour les précipitations journalières maximales) et une diminution sur la période 1933-2017 (sur toutes les précipitations maximales de 1, 3, 6, 12, 24 heures, ainsi que sur les précipitations journalières maximales).

La conclusion que l'on peut en tirer est que les précipitations d'intensité maximale restent stationnaires en moyenne dans le temps, alternant des périodes de plus forte intensité avec des périodes de nouvelle baisse d'intensité.

Les précipitations d'intensité maximale pour un temps de retour donné et pour le territoire de Rosignano restent donc en moyenne constantes et égales à celles déjà obtenues dans l'analyse historique.

MASSIMI DI PRECIPITAZIONE [mm] Rosignano (1933-2017)					
Tr	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
[anni]	$x (Tr) = N + 1/\alpha * Y$				
2	30,2	41,6	48,1	54,5	61,2
5	44,2	61,1	71,6	81,0	91,2
10	53,4	74,1	87,2	98,5	111,0
25	65,2	90,4	106,9	120,6	136,0
30	67,4	93,6	110,8	124,9	140,9
50	73,8	102,6	121,5	137,0	154,6
100	82,5	114,6	136,0	153,3	173,0
200	91,0	126,6	150,4	169,6	191,4
500	102,4	142,4	169,5	191,0	215,6
1000	110,9	154,4	183,9	207,2	233,9
Dev. st. σ	15,8	22,1	26,6	29,9	33,9

Tableau 33.17 - Hauteurs maximales de pluie pour les intervalles de données et les temps de retour, montées à partir de Livourne et valables pour le territoire de Rosignano.

Niveau de la mer

Le niveau de la mer pour Rosignano a été estimé sur la base des études mentionnées dans le paragraphe *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.* dont un résumé est donné sous forme de tableau.

Fonte	Galassi e Spada 2014*			Antonioli 2017		PNACC 2017	IPCC AR5 globale***				
Scenario	RCP6.0				RCP8.5						
[cm]	2040-2050			2100	2100**		2021-2050	2046-2065		2081-2100	
	min	max	max	max	min	max		min	max	min	max
Tirreno	8,9	24,6	33,7	74,4	56,1	97,3	9	22,0	38,0	45,0	82,0
Adriatico	11,5	23,8	29,6	63,1			7				
Ionio	12,5	30,5	32,0	70,0			7				

*probabili sottostime da assenza considerazione salinità

*senza movimento tettonico

** media dalle 4 aree studiate, per le quali è stato considerato anche il movimento tettonico locale

*** valori dell'intervallo più probabile

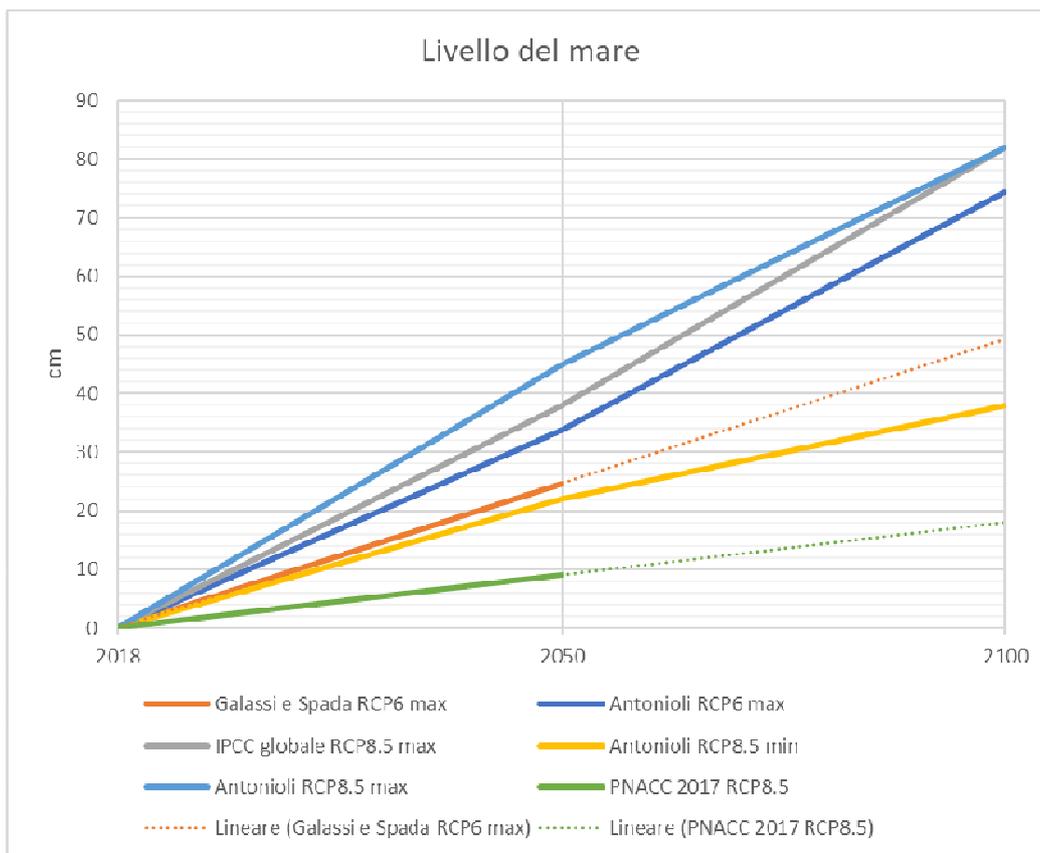
Tableau 33.25 - Comparaison des anomalies futures du niveau de la mer par rapport à la situation actuelle pour différentes zones marines et différentes études pour les scénarios RCP6 et RCP8.5.

Galassi e Spada 2014 RCP6 max			PNACC 2017 RCP8.5		
	dato	ricavato		dato	ricavato
2018	0		2018	0	
2050	24,6		2050	9,0	
2100		50	2100		18

Antonioli 2017 RCP6 max			Antonioli 2017 RCP8.5		
				min	max
2018	0		2018	0	0
2050	33,7		2050	22,0	45,0
2100	74,4		2100	38,0	82,0

IPCC globale RCP8.5 max		
2018	0	
2050	38,0	
2100	82,0	

Tableau 33.26 - Projections futures du niveau de la mer pour Rosignano, pour plusieurs études et pour les scénarios RCP6 et RCP8.5. Comparaison avec projection du niveau global (intervalle le plus probable).



Graphique 12 - Projections futures du niveau de la mer pour Rosignano, pour plusieurs études et pour les scénarios RCP6 et RCP8.5. Comparaison avec projection du niveau global (intervalle le plus probable).

4. Annexe

4.5. Analyse de la température

TEMPERATURE MEDIE ANNUALI										
						1		2		3
						1961-1990		1971-2000		1981-2010
Medie climatologiche [°C]						T max		T min		T media
						19,0		12,3		15,6
						19,5		12,7		16,1
						15,6		15,9		16,1
Anno	T max	T min	T media	Anomalia 2 - T max		Anomalia 2 - T min		Anomalia 2 - T media		
	°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%	
1951	19,0	12,3	15,7	-0,3	-1,4	-0,1	-1,2	-0,2	-1,3	
1952	19,0	12,2	15,6	-0,3	-1,6	-0,2	-1,9	-0,3	-1,7	
1953	18,9	11,8	15,4	-0,3	-1,7	-0,7	-5,7	-0,5	-3,3	
1954	18,2	11,3	14,7	-1,1	-5,7	-1,2	-9,4	-1,1	-7,2	
1955	19,1	12,2	15,6	-0,2	-0,9	-0,3	-2,3	-0,2	-1,5	
1956	17,7	10,9	14,3	-1,6	-8,3	-1,5	-12,4	-1,6	-9,9	
1957	19,0	11,8	15,4	-0,3	-1,3	-0,7	-5,5	-0,5	-3,0	
1958	19,1	12,1	15,6	-0,2	-1,1	-0,4	-3,3	-0,3	-2,0	
1959	19,9	11,5	15,7	0,6	3,3	-0,9	-7,4	-0,1	-0,9	
1960	18,4	10,4	14,4	-0,9	-4,7	-2,0	-16,4	-1,5	-9,3	
1961	19,8	12,6	16,2	0,5	2,9	0,1	0,7	0,3	2,0	
1962	18,9	11,9	15,4	-0,4	-2,1	-0,5	-4,3	-0,5	-2,9	
1963	18,7	11,9	15,3	-0,6	-3,0	-0,5	-4,4	-0,6	-3,5	
1964	19,4	12,6	16,0	0,1	0,7	0,1	1,0	0,1	0,8	
1965	18,7	11,2	15,0	-0,6	-3,2	-1,2	-9,8	-0,9	-5,8	
1966	18,7	11,3	15,0	-0,6	-3,1	-1,1	-9,0	-0,9	-5,4	
1967	19,0	12,4	15,7	-0,2	-1,2	0,0	-0,3	-0,1	-0,9	
1968	18,6	12,1	15,3	-0,7	-3,8	-0,4	-3,0	-0,6	-3,5	
1969	18,6	12,0	15,3	-0,7	-3,5	-0,4	-3,5	-0,6	-3,5	
1970	18,7	12,3	15,5	-0,6	-3,2	-0,2	-1,6	-0,4	-2,6	
1971	19,2	12,3	15,8	-0,1	-0,3	-0,2	-1,4	-0,1	-0,7	
1972	18,7	12,3	15,5	-0,6	-3,3	-0,2	-1,3	-0,4	-2,5	
1973	19,3	12,3	15,8	0,1	0,3	-0,2	-1,4	-0,1	-0,4	
1974	18,8	12,3	15,5	-0,5	-2,4	-0,2	-1,6	-0,3	-2,1	
1975	19,0	12,3	15,6	-0,3	-1,5	-0,2	-1,6	-0,2	-1,6	
1976	18,9	12,0	15,5	-0,3	-1,7	-0,5	-3,9	-0,4	-2,6	
1977	18,9	12,5	15,7	-0,4	-1,9	0,0	0,1	-0,2	-1,1	
1978	18,6	12,0	15,3	-0,7	-3,8	-0,5	-3,7	-0,6	-3,8	
1979	19,0	12,5	15,7	-0,3	-1,6	0,0	0,4	-0,1	-0,9	
1980	17,9	11,4	14,7	-1,4	-7,0	-1,0	-8,4	-1,2	-7,6	
1981	18,7	12,1	15,4	-0,5	-2,8	-0,4	-3,0	-0,5	-2,9	
1982	19,4	12,7	16,1	0,1	0,6	0,3	2,1	0,2	1,2	
1983	19,2	12,5	15,8	-0,1	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,4	
1984	18,2	11,9	15,0	-1,1	-5,7	-0,6	-4,8	-0,8	-5,3	
1985	19,1	12,7	15,9	-0,2	-1,0	0,2	1,8	0,0	0,1	
1986	19,3	12,5	15,9	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,2	
1987	19,3	12,7	16,0	0,0	0,1	0,3	2,2	0,1	0,9	
1988	19,5	12,7	16,1	0,2	1,3	0,3	2,1	0,3	1,6	
1989	19,9	12,5	16,2	0,6	3,1	0,0	0,1	0,3	1,9	
1990	20,1	13,4	16,8	0,9	4,4	0,9	7,2	0,9	5,5	
1991	18,9	12,0	15,5	-0,4	-2,0	-0,4	-3,5	-0,4	-2,6	
1992	19,7	13,1	16,4	0,5	2,4	0,6	4,8	0,5	3,3	
1993	19,4	13,0	16,2	0,2	0,8	0,5	3,8	0,3	2,0	
1994	20,1	13,5	16,8	0,8	4,4	1,0	7,9	0,9	5,8	
1995	19,8	13,0	16,4	0,6	2,9	0,5	3,9	0,5	3,3	
1996	19,5	12,6	16,0	0,2	1,1	0,1	0,7	0,2	1,0	
1997	20,3	12,4	16,3	1,0	5,4	-0,1	-0,8	0,5	2,9	
1998	19,5	11,9	15,7	0,2	1,2	-0,5	-4,4	-0,2	-1,0	
1999	19,8	12,3	16,1	0,5	2,7	-0,2	-1,3	0,2	1,1	
2000	20,2	12,9	16,6	1,0	5,0	0,5	3,7	0,7	4,5	
2001	19,4	12,8	16,1	0,1	0,5	0,4	2,9	0,2	1,5	
2002	19,6	13,3	16,4	0,3	1,7	0,8	6,4	0,6	3,6	
2003	20,0	13,2	16,6	0,8	4,0	0,7	6,0	0,8	4,8	
2004	19,3	12,9	16,1	0,0	0,1	0,4	3,2	0,2	1,3	
2005	18,9	12,0	15,5	-0,3	-1,7	-0,5	-3,7	-0,4	-2,5	
2006	20,1	13,2	16,6	0,8	4,0	0,7	6,0	0,8	4,8	
2007	19,8	13,1	16,4	0,5	2,6	0,6	4,7	0,5	3,4	
2008	19,5	12,9	16,2	0,3	1,4	0,4	3,6	0,4	2,2	
2009	20,1	13,2	16,6	0,8	4,1	0,7	6,0	0,8	4,8	
2010	19,5	12,7	16,1	0,2	1,3	0,3	2,0	0,2	1,6	
Media	18,9	12,0	15,5	-0,4	-2,1	-0,4	-3,5	-0,4	-2,7	
MKT	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Trend	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
2021	20,0	13,3	16,6	0,7	3,7	0,8	6,5	0,8	4,8	
2050	20,6	14,0	17,3	1,3	6,7	1,5	11,9	1,4	8,7	
Media	20,3	13,6	17,0	1,0	5,2	1,2	9,2	1,1	6,8	
2041	20,4	13,8	17,1	1,1	5,8	1,3	10,3	1,2	7,5	
2070	21,0	14,4	17,7	1,7	8,7	2,0	15,7	1,8	11,5	
Media	20,7	14,1	17,4	1,4	7,2	1,6	13,0	1,5	9,5	
2061	20,8	14,2	17,5	1,5	7,8	1,7	14,0	1,6	10,2	
2090	21,4	14,9	18,1	2,1	10,8	2,4	19,4	2,2	14,2	
Media	21,1	14,6	17,8	1,8	9,3	2,1	16,7	1,9	12,2	

TEMPERATURE MEDIE PRIMAVERILI

Anno	T max °C	T min °C	Medie climatologiche [°C]			1		2		3	
						1961-1990		1971-2000		1981-2010	
						T max	T min	T max	T min	T max	T min
						T media	T media	T media	T media	T media	T media
T media	Anomalia 2 T max	Anomalia 2 T min	Anomalia 2 - T media								
°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	
1951	16,3	10,0	13,2	-2,1	-11,5	-1,6	-13,6	-1,8	-12,3		
1952	17,8	10,8	14,3	-0,6	-3,2	-0,7	-6,3	-0,7	-4,4		
1953	18,1	10,2	14,2	-0,3	-1,5	-1,4	-12,2	-0,8	-5,6		
1954	17,2	10,3	13,8	-1,2	-6,7	-1,3	-10,8	-1,2	-8,3		
1955	17,1	9,5	13,3	-1,3	-7,0	-2,1	-17,8	-1,7	-11,2		
1956	16,7	9,8	13,2	-1,7	-9,2	-1,8	-15,8	-1,8	-11,7		
1957	17,3	10,0	13,6	-1,1	-6,1	-1,6	-13,9	-1,4	-9,1		
1958	16,6	9,0	12,8	-1,9	-10,2	-2,5	-21,9	-2,2	-14,7		
1959	19,1	10,6	14,8	0,7	3,9	-1,0	-8,8	-0,2	-1,0		
1960	18,0	9,0	13,5	-0,4	-2,4	-2,6	-22,5	-1,5	-10,2		
1961	18,7	11,0	14,8	0,2	1,2	-0,6	-4,9	-0,2	-1,1		
1962	16,6	10,3	13,4	-1,8	-10,0	-1,3	-11,4	-1,6	-10,5		
1963	18,2	10,6	14,4	-0,3	-1,4	-0,9	-8,1	-0,6	-4,0		
1964	18,4	11,9	15,2	-0,1	-0,3	0,4	3,1	0,2	1,0		
1965	16,9	9,6	13,2	-1,5	-8,2	-2,0	-17,3	-1,8	-11,7		
1966	18,1	10,3	14,2	-0,4	-1,9	-1,3	-11,2	-0,8	-5,5		
1967	17,9	11,1	14,5	-0,5	-2,6	-0,5	-4,0	-0,5	-3,1		
1968	18,5	11,7	15,1	0,1	0,3	0,1	0,8	0,1	0,5		
1969	17,3	10,8	14,1	-1,1	-5,9	-0,8	-6,6	-0,9	-6,2		
1970	16,5	10,1	13,3	-1,9	-10,4	-1,5	-12,7	-1,7	-11,3		
1971	18,1	11,3	14,7	-0,3	-1,8	-0,3	-2,8	-0,3	-2,2		
1972	18,2	11,6	14,9	-0,3	-1,4	0,0	-0,2	-0,1	-0,9		
1973	17,7	10,4	14,1	-0,7	-3,7	-1,1	-9,9	-0,9	-6,1		
1974	18,0	11,2	14,6	-0,4	-2,1	-0,3	-3,0	-0,4	-2,4		
1975	17,1	10,8	13,9	-1,3	-7,0	-0,8	-7,1	-1,1	-7,1		
1976	17,8	10,6	14,2	-0,6	-3,4	-1,0	-8,2	-0,8	-5,3		
1977	17,9	11,4	14,6	-0,5	-2,7	-0,2	-1,8	-0,4	-2,4		
1978	17,0	10,8	13,9	-1,4	-7,7	-0,8	-6,5	-1,1	-7,2		
1979	18,6	11,9	15,2	0,2	0,8	0,3	2,6	0,2	1,5		
1980	16,6	9,9	13,3	-1,8	-9,9	-1,6	-14,1	-1,7	-11,5		
1981	18,1	12,1	15,1	-0,3	-1,7	0,5	4,1	0,1	0,6		
1982	18,1	10,8	14,4	-0,3	-1,8	-0,8	-6,9	-0,6	-3,7		
1983	18,2	11,8	15,0	-0,2	-1,1	0,3	2,3	0,0	0,2		
1984	16,5	10,5	13,5	-1,9	-10,3	-1,1	-9,2	-1,5	-9,9		
1985	18,0	11,8	14,9	-0,4	-2,1	0,3	2,3	-0,1	-0,4		
1986	18,8	12,3	15,5	0,4	1,9	0,7	6,2	0,5	3,6		
1987	17,0	10,3	13,7	-1,4	-7,5	-1,3	-11,3	-1,3	-9,0		
1988	18,8	12,7	15,7	0,4	2,1	1,1	9,3	0,7	4,9		
1989	19,5	12,0	15,7	1,1	5,8	0,4	3,4	0,7	4,8		
1990	19,3	12,6	16,0	0,9	5,0	1,0	8,7	1,0	6,4		
1991	17,5	10,8	14,1	-0,9	-4,9	-0,8	-7,1	-0,9	-5,8		
1992	19,3	12,5	15,9	0,9	4,8	1,0	8,2	0,9	6,1		
1993	19,1	12,2	15,7	0,7	3,9	0,6	5,3	0,7	4,4		
1994	19,2	12,4	15,8	0,8	4,2	0,8	6,9	0,8	5,3		
1995	18,5	11,9	15,2	0,1	0,4	0,4	3,0	0,2	1,4		
1996	19,8	12,9	16,3	1,3	7,3	1,3	11,6	1,3	9,0		
1997	19,8	11,5	15,7	1,4	7,6	-0,1	-0,6	0,7	4,4		
1998	19,7	11,6	15,6	1,3	6,8	0,0	-0,1	0,6	4,2		
1999	19,9	12,0	15,9	1,4	7,8	0,4	3,5	0,9	6,1		
2000	20,4	12,9	16,6	2,0	10,7	1,3	11,4	1,6	11,0		
2001	19,2	12,9	16,1	0,8	4,3	1,3	11,3	1,1	7,0		
2002	18,8	12,5	15,7	0,4	2,1	0,9	8,0	0,7	4,4		
2003	19,8	12,8	16,3	1,4	7,5	1,2	10,7	1,3	8,7		
2004	18,4	11,8	15,1	-0,1	-0,3	0,3	2,2	0,1	0,7		
2005	19,5	12,7	16,1	1,1	6,1	1,2	10,1	1,1	7,6		
2006	19,0	12,2	15,6	0,6	3,3	0,6	5,3	0,6	4,1		
2007	20,1	13,2	16,7	1,7	9,0	1,6	14,2	1,7	11,0		
2008	19,4	12,8	16,1	1,0	5,2	1,2	10,6	1,1	7,3		
2009	20,3	13,4	16,9	1,9	10,4	1,8	15,9	1,9	12,5		
2010	19,6	13,1	16,3	1,2	6,3	1,5	12,9	1,3	8,9		
Media	17,7	10,7	14,2	-0,8	-4,1	-0,9	-7,5	-0,8	-5,4		
MKT	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
Trend	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
2021	20,1	13,5	16,8	1,7	9,1	1,9	16,5	1,8	12,0		
2050	21,4	15,0	18,2	3,0	16,1	3,4	29,7	3,2	21,4		
Media	20,8	14,3	17,5	2,3	12,6	2,7	23,1	2,5	16,7		
2041	21,0	14,5	17,8	2,6	13,9	3,0	25,6	2,8	18,5		
2070	22,3	16,1	19,2	3,9	20,9	4,5	38,8	4,2	27,9		
Media	21,6	15,3	18,5	3,2	17,4	3,7	32,2	3,5	23,2		
2061	21,9	15,6	18,7	3,5	18,8	4,0	34,7	3,7	24,9		
2090	23,2	17,1	20,2	4,7	25,8	5,6	48,0	5,1	34,3		
Media	22,5	16,4	19,4	4,1	22,3	4,8	41,4	4,4	29,6		

TEMPERATURE MEDIE ESTIVE

Anno	T max °C	T min °C	Medie climatologiche [°C]			1			2		3			
						1961-1990			1971-2000		1981-2010			
						T max			26,4		26,8		27,3	
						T min			19,2		19,6		20,0	
T media			22,8		23,2		23,7							
T max	T min	T media	Anomalia 2 T max		Anomalia 2 T min		Anomalia 2 - T media							
°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%						
1951	26,3	18,9	22,6	-0,6	-2,1	-0,7	-3,5	-0,6	-2,7					
1952	27,9	20,6	24,2	1,1	4,0	1,0	5,2	1,0	4,5					
1953	25,5	18,3	21,9	-1,4	-5,2	-1,2	-6,3	-1,3	-5,6					
1954	25,0	17,9	21,5	-1,9	-7,0	-1,6	-8,3	-1,7	-7,5					
1955	26,1	18,8	22,4	-0,8	-2,8	-0,8	-4,1	-0,8	-3,4					
1956	25,3	18,2	21,7	-1,5	-5,7	-1,4	-7,0	-1,5	-6,3					
1957	26,0	18,6	22,3	-0,9	-3,2	-0,9	-4,8	-0,9	-3,9					
1958	25,8	18,7	22,2	-1,1	-3,9	-0,9	-4,5	-1,0	-4,2					
1959	28,1	18,7	23,4	1,2	4,6	-0,8	-4,1	0,2	0,9					
1960	26,3	17,1	21,7	-0,5	-1,9	-2,5	-12,8	-1,5	-6,5					
1961	26,7	19,3	23,0	-0,1	-0,4	-0,3	-1,3	-0,2	-0,8					
1962	26,7	19,5	23,1	-0,2	-0,7	-0,1	-0,5	-0,1	-0,6					
1963	26,5	19,6	23,0	-0,3	-1,2	0,0	0,0	-0,2	-0,7					
1964	27,6	19,8	23,7	0,8	2,8	0,2	1,2	0,5	2,2					
1965	25,6	17,6	21,6	-1,2	-4,6	-2,0	-10,2	-1,6	-7,0					
1966	25,4	17,9	21,7	-1,4	-5,2	-1,7	-8,6	-1,5	-6,6					
1967	26,5	19,4	23,0	-0,3	-1,2	-0,2	-0,8	-0,2	-1,0					
1968	25,3	18,7	22,0	-1,6	-5,8	-0,8	-4,2	-1,2	-5,1					
1969	25,5	18,6	22,1	-1,4	-5,0	-0,9	-4,8	-1,1	-4,9					
1970	25,7	19,4	22,5	-1,2	-4,4	-0,2	-0,9	-0,7	-2,9					
1971	27,0	19,9	23,4	0,1	0,5	0,3	1,5	0,2	1,0					
1972	25,3	18,7	22,0	-1,6	-5,8	-0,9	-4,4	-1,2	-5,3					
1973	27,4	20,0	23,7	0,6	2,1	0,4	2,3	0,5	2,2					
1974	25,9	19,1	22,5	-0,9	-3,4	-0,4	-2,1	-0,7	-2,9					
1975	26,1	19,1	22,6	-0,7	-2,7	-0,5	-2,5	-0,6	-2,6					
1976	26,3	18,6	22,4	-0,6	-2,1	-1,0	-4,9	-0,8	-3,3					
1977	25,1	18,7	21,9	-1,8	-6,7	-0,8	-4,2	-1,3	-5,6					
1978	25,5	18,7	22,1	-1,3	-5,0	-0,9	-4,5	-1,1	-4,8					
1979	26,4	19,4	22,9	-0,4	-1,6	-0,1	-0,7	-0,3	-1,2					
1980	24,9	18,3	21,6	-2,0	-7,3	-1,3	-6,4	-1,6	-6,9					
1981	26,4	18,9	22,6	-0,5	-1,7	-0,7	-3,6	-0,6	-2,5					
1982	27,1	20,6	23,8	0,3	1,0	1,0	5,2	0,6	2,8					
1983	27,2	19,8	23,5	0,4	1,4	0,3	1,4	0,3	1,4					
1984	26,1	18,8	22,5	-0,7	-2,8	-0,7	-3,7	-0,7	-3,2					
1985	26,6	19,6	23,1	-0,3	-1,0	0,1	0,4	-0,1	-0,4					
1986	26,9	19,4	23,2	0,0	0,0	-0,1	-0,5	0,0	-0,2					
1987	27,5	20,2	23,8	0,6	2,4	0,6	3,3	0,6	2,7					
1988	27,2	19,9	23,5	0,3	1,2	0,3	1,7	0,3	1,4					
1989	27,4	19,8	23,6	0,5	2,0	0,2	1,1	0,4	1,6					
1990	27,3	20,2	23,7	0,5	1,8	0,6	3,1	0,5	2,3					
1991	27,5	20,3	23,9	0,6	2,4	0,7	3,7	0,7	3,0					
1992	27,3	20,2	23,7	0,4	1,7	0,6	3,2	0,5	2,3					
1993	26,7	19,7	23,2	-0,2	-0,6	0,2	1,0	0,0	0,1					
1994	28,4	21,3	24,9	1,6	5,8	1,8	9,1	1,7	7,2					
1995	27,6	20,1	23,8	0,7	2,7	0,5	2,8	0,6	2,8					
1996	27,1	19,6	23,3	0,3	1,0	0,0	0,0	0,1	0,6					
1997	27,8	19,2	23,5	1,0	3,6	-0,3	-1,7	0,3	1,4					
1998	27,7	19,8	23,7	0,8	3,2	0,2	1,2	0,5	2,3					
1999	28,0	19,6	23,8	1,2	4,5	0,1	0,3	0,6	2,7					
2000	27,8	19,2	23,5	0,9	3,5	-0,4	-2,0	0,3	1,2					
2001	26,6	20,1	23,3	-0,3	-1,0	0,6	2,8	0,1	0,6					
2002	26,8	20,0	23,4	0,0	-0,2	0,4	2,2	0,2	0,8					
2003	29,2	22,3	25,8	2,4	8,8	2,7	14,0	2,6	11,0					
2004	27,0	20,2	23,6	0,2	0,7	0,7	3,5	0,4	1,9					
2005	27,1	20,2	23,7	0,3	1,1	0,7	3,5	0,5	2,1					
2006	27,6	20,8	24,2	0,8	2,9	1,3	6,4	1,0	4,4					
2007	26,4	19,5	23,0	-0,5	-1,7	0,0	-0,2	-0,2	-1,1					
2008	27,5	20,8	24,2	0,7	2,6	1,2	6,2	1,0	4,1					
2009	27,7	20,9	24,3	0,9	3,3	1,4	7,1	1,1	4,9					
2010	27,6	19,7	23,6	0,7	2,6	0,1	0,7	0,4	1,8					
Media	26,2	19,0	22,6	-0,6	-2,3	-0,6	-3,0	-0,6	-2,6					
MKT	S	S	S	S	S	S	S	S	S					
Trend	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
2021	27,9	20,8	24,4	1,1	4,0	1,3	6,4	1,2	5,1					
2050	28,8	21,8	25,3	2,0	7,3	2,2	11,5	2,1	9,1					
Media	28,4	21,3	24,8	1,5	5,7	1,8	9,0	1,6	7,1					
2041	28,5	21,5	25,0	1,7	6,3	1,9	9,9	1,8	7,8					
2070	29,4	22,5	25,9	2,6	9,5	2,9	14,9	2,7	11,8					
Media	29,0	22,0	25,5	2,1	7,9	2,4	12,4	2,3	9,8					
2061	29,1	22,2	25,7	2,3	8,5	2,6	13,4	2,5	10,6					
2090	30,0	23,2	26,6	3,2	11,8	3,6	18,4	3,4	14,6					
Media	29,6	22,7	26,1	2,7	10,1	3,1	15,9	2,9	12,6					

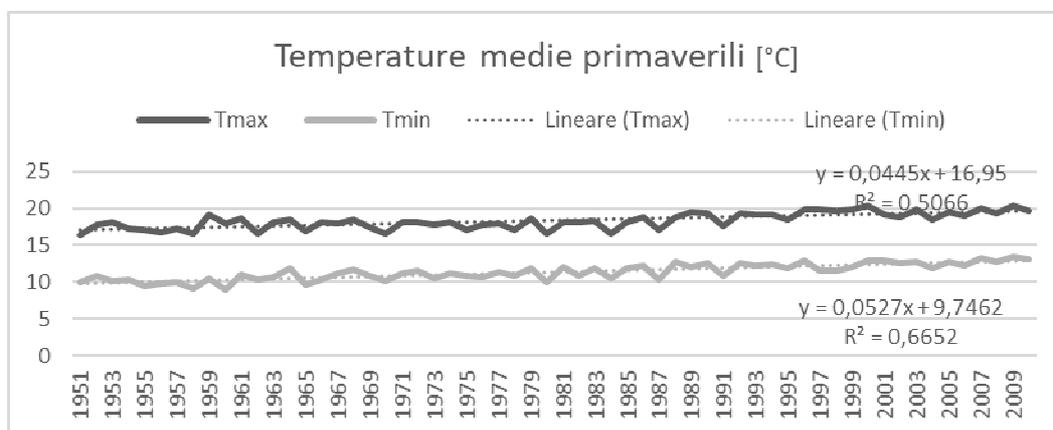
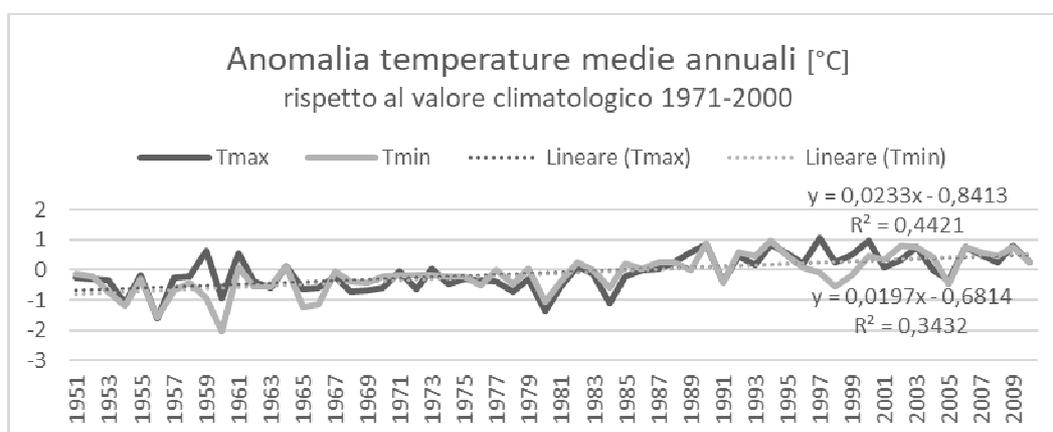
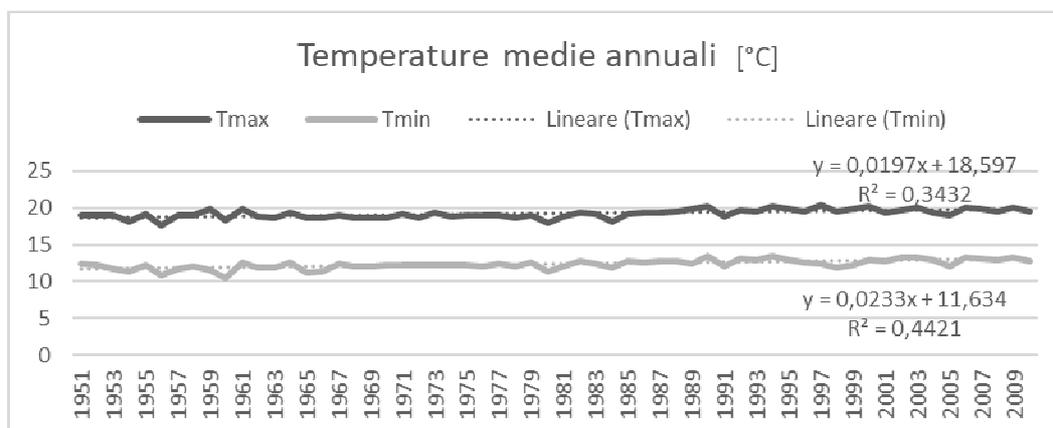
TEMPERATURE MEDIE AUTUNNALI

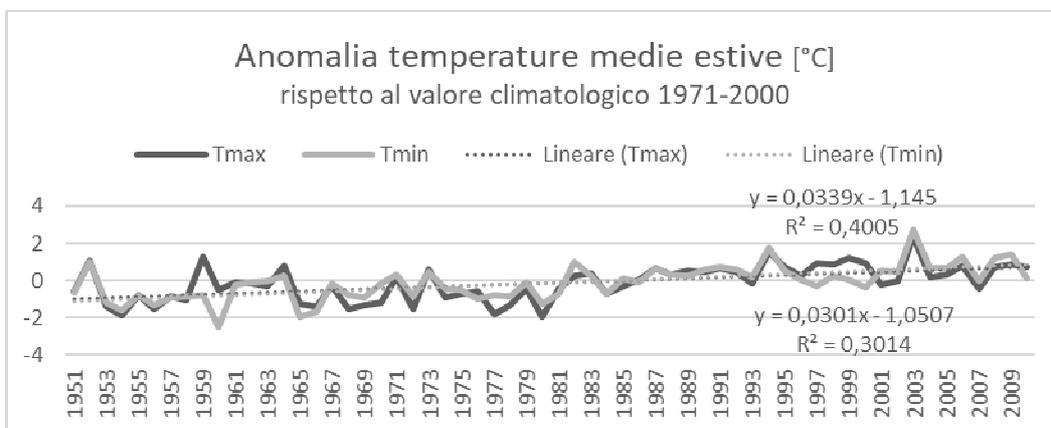
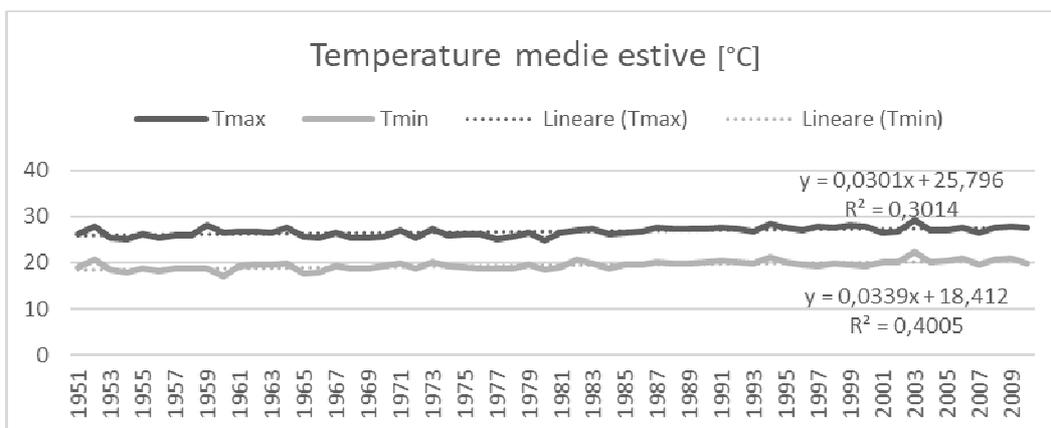
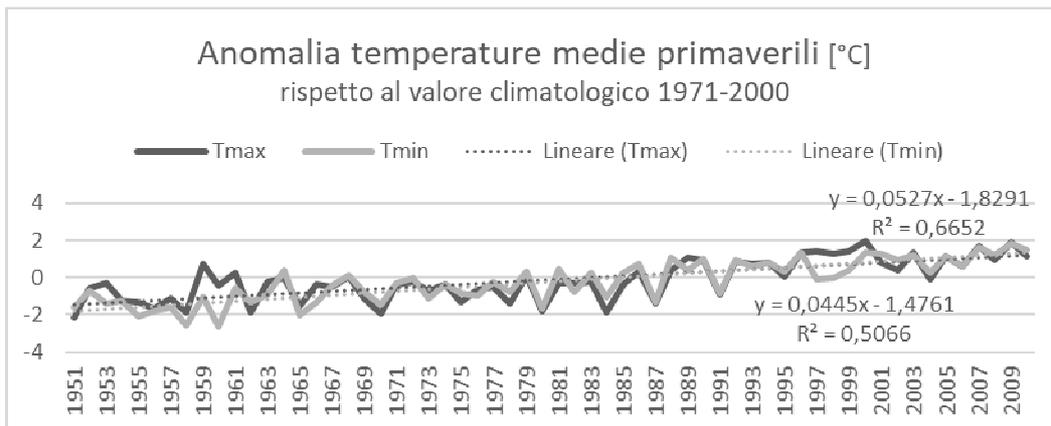
Anno	T max °C	T min °C	Medie climatologiche [°C]			1		2		3	
						1961-1990		1971-2000		1981-2010	
						T max	T min	T max	T min	T max	T min
						T media	T media	T media	T media	T media	T media
T media	Anomalia 2 T max	Anomalia 2 T min	Anomalia 2 - T media		Anomalia 2 - T media		Anomalia 2 - T media				
°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	
1951	20,7	13,8	17,3	1,5	8,0	1,5	11,8	1,5	9,5		
1952	18,6	12,7	15,7	-0,6	-3,2	0,3	2,7	-0,1	-0,9		
1953	20,7	13,5	17,1	1,5	8,0	1,1	8,8	1,3	8,3		
1954	19,7	12,6	16,2	0,5	2,8	0,2	1,7	0,4	2,4		
1955	19,6	12,4	16,0	0,3	1,8	0,1	0,4	0,2	1,3		
1956	19,0	11,9	15,4	-0,2	-1,3	-0,5	-3,7	-0,4	-2,2		
1957	20,3	12,9	16,6	1,1	5,8	0,5	3,9	0,8	5,0		
1958	20,9	13,8	17,4	1,7	8,6	1,5	11,7	1,6	9,9		
1959	19,3	11,1	15,2	0,1	0,7	-1,3	-10,4	-0,6	-3,6		
1960	18,3	11,1	14,7	-0,9	-4,6	-1,3	-10,6	-1,1	-6,9		
1961	21,2	14,2	17,7	2,0	10,5	1,8	14,5	1,9	12,1		
1962	20,0	13,0	16,5	0,8	4,3	0,7	5,4	0,7	4,7		
1963	20,9	14,2	17,6	1,7	8,9	1,8	14,6	1,8	11,1		
1964	19,6	12,9	16,2	0,4	2,0	0,5	4,2	0,4	2,8		
1965	19,8	12,6	16,2	0,6	3,1	0,2	1,8	0,4	2,6		
1966	19,5	12,0	15,8	0,3	1,8	-0,4	-2,9	0,0	-0,1		
1967	20,5	13,9	17,2	1,3	6,7	1,5	12,5	1,4	9,0		
1968	19,5	12,5	16,0	0,3	1,4	0,1	0,9	0,2	1,2		
1969	20,7	13,4	17,1	1,5	7,6	1,1	8,6	1,3	8,0		
1970	20,9	13,4	17,2	1,7	8,6	1,1	8,6	1,4	8,6		
1971	19,2	11,7	15,4	0,0	-0,2	-0,7	-5,6	-0,4	-2,3		
1972	18,8	12,1	15,4	-0,4	-2,1	-0,3	-2,5	-0,4	-2,3		
1973	19,8	12,7	16,2	0,6	2,9	0,3	2,8	0,5	2,9		
1974	18,0	11,4	14,7	-1,2	-6,1	-1,0	-7,9	-1,1	-6,8		
1975	19,7	12,4	16,0	0,5	2,6	0,0	-0,1	0,2	1,6		
1976	18,9	12,2	15,6	-0,3	-1,7	-0,1	-1,1	-0,2	-1,5		
1977	19,5	12,5	16,0	0,3	1,6	0,1	1,1	0,2	1,4		
1978	19,2	11,7	15,4	0,0	-0,1	-0,7	-5,7	-0,4	-2,3		
1979	19,0	12,4	15,7	-0,2	-1,2	0,1	0,4	-0,1	-0,5		
1980	18,0	11,5	14,8	-1,2	-6,3	-0,9	-6,9	-1,0	-6,6		
1981	19,0	12,6	15,8	-0,2	-1,0	0,2	1,8	0,0	0,1		
1982	20,0	13,4	16,7	0,8	4,1	1,1	8,5	0,9	5,9		
1983	19,1	12,2	15,6	-0,1	-0,7	-0,2	-1,3	-0,1	-0,9		
1984	19,3	12,7	16,0	0,1	0,6	0,3	2,8	0,2	1,5		
1985	19,7	13,1	16,4	0,5	2,8	0,7	5,8	0,6	4,0		
1986	20,1	13,0	16,6	0,9	4,9	0,6	5,1	0,8	5,0		
1987	20,5	14,0	17,2	1,3	6,9	1,6	12,8	1,5	9,2		
1988	19,3	12,4	15,8	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2		
1989	18,9	11,3	15,1	-0,3	-1,3	-1,0	-8,5	-0,7	-4,1		
1990	19,5	13,2	16,4	0,3	1,5	0,8	6,8	0,6	3,6		
1991	18,5	11,9	15,2	-0,7	-3,6	-0,5	-3,8	-0,6	-3,7		
1992	19,6	13,7	16,7	0,4	2,0	1,3	10,9	0,9	5,5		
1993	18,4	12,5	15,4	-0,8	-4,4	0,1	0,9	-0,4	-2,3		
1994	20,2	13,6	16,9	1,0	5,4	1,2	9,5	1,1	7,0		
1995	19,5	12,0	15,8	0,3	1,6	-0,4	-3,2	0,0	-0,3		
1996	18,9	11,9	15,4	-0,3	-1,4	-0,5	-3,7	-0,4	-2,3		
1997	18,8	11,3	15,0	-0,5	-2,4	-1,1	-8,7	-0,8	-4,9		
1998	17,9	10,6	14,2	-1,3	-6,9	-1,8	-14,7	-1,6	-10,0		
1999	19,2	12,5	15,9	0,0	0,0	0,1	1,0	0,1	0,4		
2000	19,6	12,8	16,2	0,4	2,3	0,4	3,4	0,4	2,7		
2001	19,4	12,3	15,8	0,2	0,9	-0,1	-0,7	0,0	0,3		
2002	18,9	12,8	15,8	-0,3	-1,4	0,4	3,1	0,1	0,3		
2003	19,0	12,5	15,7	-0,2	-1,0	0,1	0,8	0,0	-0,3		
2004	19,6	13,1	16,4	0,4	2,0	0,7	5,9	0,6	3,6		
2005	18,7	11,6	15,2	-0,5	-2,5	-0,7	-5,9	-0,6	-3,8		
2006	20,6	13,5	17,0	1,4	7,4	1,1	8,7	1,2	7,9		
2007	18,8	11,6	15,2	-0,4	-1,9	-0,8	-6,7	-0,6	-3,8		
2008	18,6	11,8	15,2	-0,6	-2,9	-0,6	-4,6	-0,6	-3,6		
2009	19,5	12,3	15,9	0,3	1,7	-0,1	-0,6	0,1	0,8		
2010	18,4	11,7	15,1	-0,8	-4,3	-0,6	-5,2	-0,7	-4,6		
Media	19,6	12,7	16,2	0,4	2,3	0,3	2,3	0,4	2,3		
MKT	S	NS	S	S	S	NS	NS	S	S		
Trend	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2021	18,8	12,1	15,4	-0,4	-2,3	-0,3	-2,5	-0,4	-2,4		
2050	18,3	11,7	15,0	-0,9	-4,8	-0,7	-5,3	-0,8	-5,0		
Media	18,5	11,9	15,2	-0,7	-3,5	-0,5	-3,9	-0,6	-3,7		
2041	18,4	11,8	15,1	-0,8	-4,0	-0,6	-4,5	-0,7	-4,2		
2070	17,9	11,5	14,7	-1,3	-6,6	-0,9	-7,2	-1,1	-6,8		
Media	18,2	11,7	14,9	-1,0	-5,3	-0,7	-5,8	-0,9	-5,5		
2061	18,1	11,6	14,8	-1,1	-5,8	-0,8	-6,4	-1,0	-6,0		
2090	17,6	11,3	14,4	-1,6	-8,4	-1,1	-9,1	-1,4	-8,7		
Media	17,8	11,4	14,6	-1,4	-7,1	-1,0	-7,8	-1,2	-7,3		

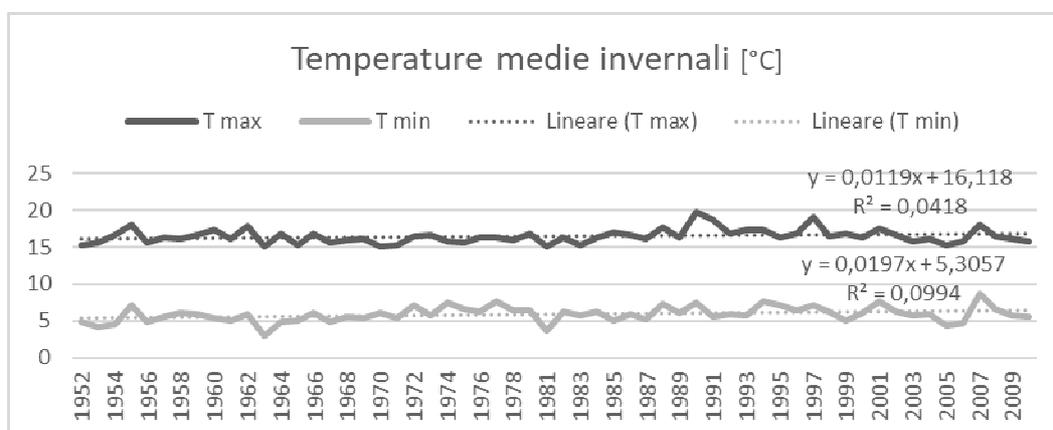
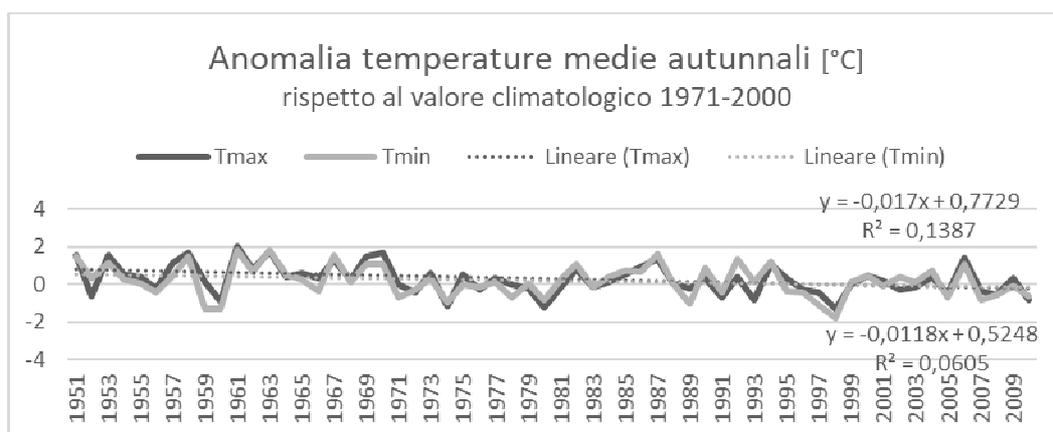
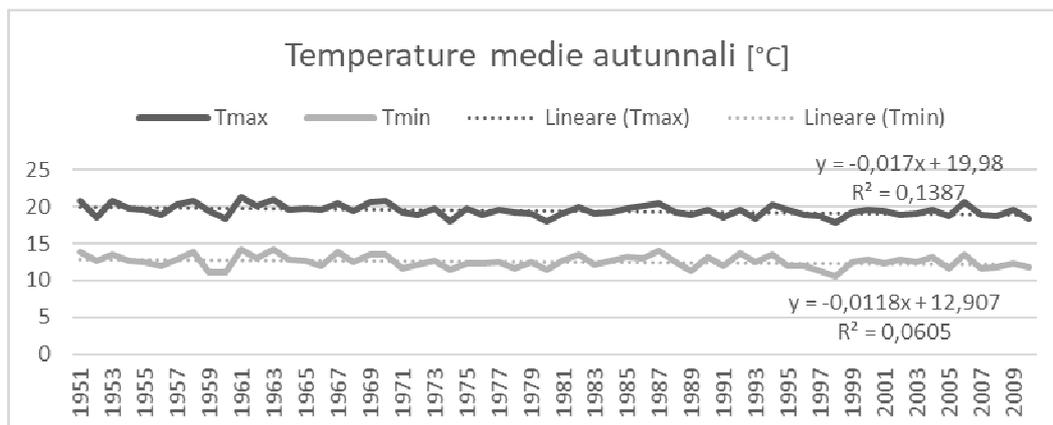
TEMPERATURE MEDIE INVERNALI

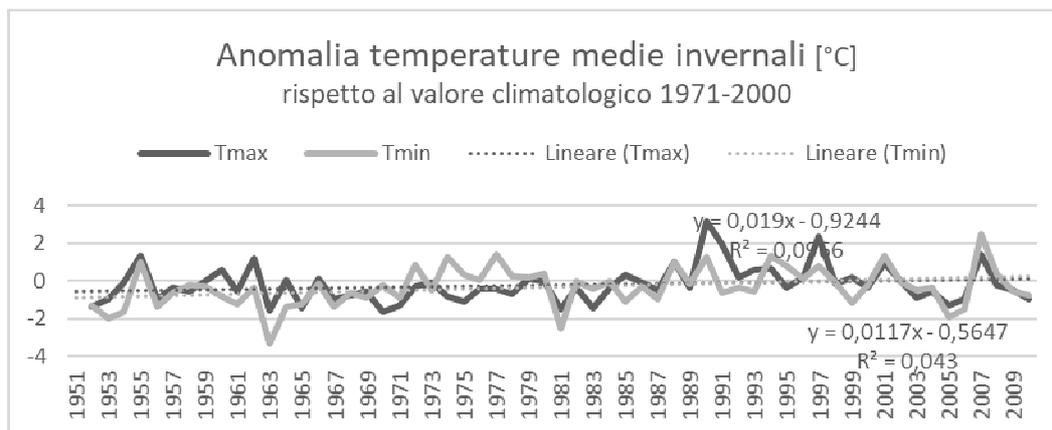
						1		2		3	
						1961-1990		1971-2000		1981-2010	
						T max		16,3		16,7	
						T min		5,9		6,2	
						T media		11,1		11,5	
						11,1		11,5		11,4	
Medie climatologiche [°C]	T max	T min	T media	Anomalia 2 T max	Anomalia 2 T min	Anomalia 2 T media	T max	T min	T media	Anomalia 2 - T media	Anomalia 2 - T media
Anno	°C	°C	°C	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%
1951											
1952	15,3	4,9	10,1	-1,4	-8,4	-1,3	-21,2	-1,4	-11,9		
1953	15,7	4,2	9,9	-1,0	-6,0	-2,0	-32,2	-1,5	-13,1		
1954	16,6	4,6	10,6	-0,1	-0,4	-1,7	-26,5	-0,9	-7,5		
1955	18,0	7,2	12,6	1,3	8,0	1,0	15,3	1,1	10,0		
1956	15,7	4,8	10,2	-1,0	-6,0	-1,4	-22,5	-1,2	-10,5		
1957	16,3	5,6	11,0	-0,3	-2,0	-0,7	-10,6	-0,5	-4,4		
1958	16,1	6,0	11,1	-0,5	-3,2	-0,2	-3,7	-0,4	-3,4		
1959	16,7	5,9	11,3	0,0	0,0	-0,3	-5,1	-0,2	-1,4		
1960	17,3	5,4	11,3	0,6	3,6	-0,8	-13,3	-0,1	-1,0		
1961	16,1	5,0	10,6	-0,5	-3,2	-1,3	-20,1	-0,9	-7,8		
1962	17,9	5,9	11,9	1,2	7,2	-0,4	-5,9	0,4	3,6		
1963	15,1	2,9	9,0	-1,6	-9,6	-3,3	-53,5	-2,5	-21,6		
1964	16,7	4,9	10,8	0,1	0,4	-1,4	-21,9	-0,7	-5,7		
1965	15,2	5,0	10,1	-1,5	-8,8	-1,2	-20,1	-1,4	-11,9		
1966	16,8	6,1	11,5	0,1	0,8	-0,1	-2,1	0,0	0,0		
1967	15,7	4,9	10,3	-1,0	-6,0	-1,4	-22,1	-1,2	-10,4		
1968	15,9	5,6	10,7	-0,8	-4,8	-0,7	-10,6	-0,7	-6,4		
1969	16,1	5,3	10,7	-0,5	-3,2	-0,9	-14,7	-0,7	-6,4		
1970	15,0	6,0	10,5	-1,7	-10,0	-0,2	-3,7	-1,0	-8,3		
1971	15,3	5,3	10,3	-1,3	-8,0	-0,9	-15,1	-1,1	-10,0		
1972	16,4	7,1	11,8	-0,3	-1,6	0,9	14,1	0,3	2,6		
1973	16,6	5,7	11,2	-0,1	-0,4	-0,5	-8,1	-0,3	-2,5		
1974	15,8	7,5	11,7	-0,9	-5,2	1,3	20,7	0,2	1,8		
1975	15,5	6,5	11,0	-1,1	-6,8	0,3	5,0	-0,4	-3,6		
1976	16,3	6,3	11,3	-0,4	-2,4	0,0	0,5	-0,2	-1,6		
1977	16,3	7,7	12,0	-0,4	-2,4	1,4	22,8	0,5	4,4		
1978	16,0	6,5	11,2	-0,7	-4,0	0,3	4,1	-0,2	-1,8		
1979	16,8	6,4	11,6	0,1	0,8	0,2	2,6	0,1	1,3		
1980	16,7	6,6	11,6	0,0	0,0	0,4	5,6	0,2	1,5		
1981	15,1	3,7	9,4	-1,5	-9,2	-2,5	-40,4	-2,0	-17,7		
1982	16,3	6,2	11,3	-0,3	-2,0	-0,1	-1,0	-0,2	-1,7		
1983	15,2	5,8	10,5	-1,5	-8,8	-0,5	-7,3	-1,0	-8,4		
1984	16,3	6,2	11,3	-0,3	-2,0	0,0	-0,5	-0,2	-1,6		
1985	17,0	5,1	11,1	0,3	2,0	-1,1	-18,1	-0,4	-3,5		
1986	16,6	5,9	11,2	-0,1	-0,6	-0,3	-4,8	-0,2	-1,8		
1987	16,2	5,3	10,7	-0,5	-3,0	-0,9	-15,2	-0,7	-6,4		
1988	17,7	7,2	12,5	1,0	6,0	1,0	16,1	1,0	8,7		
1989	16,3	6,1	11,2	-0,3	-2,0	-0,2	-2,6	-0,3	-2,2		
1990	19,8	7,5	13,7	3,2	19,0	1,3	20,6	2,2	19,4		
1991	18,6	5,6	12,1	2,0	11,8	-0,7	-10,5	0,7	5,7		
1992	16,8	5,9	11,4	0,2	1,0	-0,4	-5,8	-0,1	-0,9		
1993	17,3	5,7	11,5	0,6	3,6	-0,6	-8,8	0,0	0,2		
1994	17,3	7,6	12,5	0,7	4,0	1,4	21,8	1,0	8,8		
1995	16,3	7,0	11,7	-0,3	-2,0	0,8	12,7	0,2	2,0		
1996	16,9	6,4	11,6	0,2	1,2	0,1	1,9	0,2	1,4		
1997	19,0	7,0	13,0	2,4	14,2	0,8	13,0	1,6	13,8		
1998	16,5	6,2	11,3	-0,2	-1,0	-0,1	-1,1	-0,1	-1,1		
1999	16,8	5,1	11,0	0,2	1,0	-1,1	-18,4	-0,5	-4,3		
2000	16,3	6,0	11,1	-0,4	-2,2	-0,2	-3,8	-0,3	-2,7		
2001	17,6	7,6	12,6	0,9	5,4	1,4	21,7	1,1	9,8		
2002	16,7	6,2	11,4	0,0	0,2	0,0	-0,6	0,0	0,0		
2003	15,8	5,8	10,8	-0,9	-5,4	-0,5	-7,6	-0,7	-6,0		
2004	16,1	5,8	11,0	-0,5	-3,2	-0,4	-6,3	-0,5	-4,1		
2005	15,3	4,3	9,8	-1,3	-8,0	-1,9	-30,6	-1,6	-14,2		
2006	15,7	4,7	10,2	-1,0	-5,8	-1,5	-24,8	-1,3	-11,0		
2007	18,1	8,7	13,4	1,4	8,4	2,5	40,1	1,9	17,0		
2008	16,4	6,6	11,5	-0,2	-1,4	0,4	5,7	0,1	0,5		
2009	16,2	5,7	10,9	-0,5	-3,0	-0,6	-9,2	-0,5	-4,7		
2010	15,7	5,5	10,6	-1,0	-5,8	-0,7	-11,9	-0,9	-7,5		
Media	16,2	5,7	10,9	-0,5	-3,0	-0,6	-9,0	-0,5	-4,6		
MKT	NS	S	S	NS	NS	S	S	NS	NS		
Trend	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
2021	16,9	6,7	11,8	0,3	1,6	0,4	6,8	0,3	3,0		
2050	17,3	7,2	12,2	0,6	3,6	1,0	15,6	0,8	6,9		
Media	17,1	6,9	12,0	0,4	2,6	0,7	11,2	0,6	5,0		
2041	17,2	7,0	12,1	0,5	3,0	0,8	12,9	0,7	5,7		
2070	17,5	7,6	12,6	0,8	5,1	1,4	21,7	1,1	9,6		
Media	17,3	7,3	12,3	0,7	4,0	1,1	17,3	0,9	7,6		
2061	17,4	7,4	12,4	0,7	4,4	1,2	19,0	1,0	8,4		
2090	17,7	8,0	12,9	1,1	6,5	1,7	27,8	1,4	12,3		
Media	17,6	7,7	12,6	0,9	5,4	1,5	23,4	1,2	10,3		

Tableau 44.27 - Tableaux de température pour la station de Livourne : avec test de Mann-Kendall et régression linéaire.









Graphique 13 - Tendence historique avec l'évolution des différentes températures moyennes et des anomalies relatives par rapport à la période trentenaire 1971-2000.

Cecina

1990-2018

Media	Previsione lineare da trend storico				
	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090

Temperatura media
[°C]

Anno	1990-2018 (4)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Anno	15,5	+	NS	16,0	19,9	19,9
Inverno	8,7	+	S	10,1	11,1	12,0
Primavera	13,6	+	NS	13,8	13,9	14,0
Estate	22,7	+	NS	23,3	23,7	24,1
Autunno	16,7	+	NS	17,4	17,8	18,2

Temperatura massima media
[°C]

Anno	1990-2018 (4)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Anno	20,2	-	NS	20,0	19,9	19,9
Inverno	12,6	+	NS	13,2	13,5	13,9
Primavera	18,5	-	NS	17,5	16,9	16,3
Estate	28,4	-	NS	27,8	27,4	27,1
Autunno	21,1	+	NS	21,6	21,8	22,1

Temperatura minima media
[°C]

Anno	1990-2018 (4)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Anno	10,7	+	NS	12,1	12,9	13,8
Inverno	4,8	+	S	7,1	8,6	10,1
Primavera	8,7	+	S	10,0	10,9	11,8
Estate	17,0	+	S	18,8	20,0	21,2
Autunno	12,3	+	NS	13,2	13,8	14,3

Media stazioni

Media	Previsione lineare da trend storico			
1981-2018	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090

Temperatura media [°C]	Anno	15,8	+	16,5	18,7	18,8
	Inverno	10,1	+	11,1	11,7	12,3
	Primavera	14,6	+	15,6	16,2	16,7
	Estate	23,2	+	24,1	24,6	25,1
	Autunno	16,3	+	16,3	16,3	16,4

Temperatura massima media [°C]	Anno	19,9	+	20,2	20,3	20,5
	Inverno	14,7	+	15,1	15,4	15,7
	Primavera	18,8	+	19,1	19,3	19,4
	Estate	27,9	+	28,1	28,2	28,3
	Autunno	20,2	-	20,0	20,0	19,9

Temperatura minima media [°C]	Anno	11,7	+	12,8	13,5	14,2
	Inverno	5,4	+	7,0	8,0	8,9
	Primavera	10,4	+	12,1	13,1	14,1
	Estate	18,5	+	20,1	21,0	21,9
	Autunno	12,4	+	12,5	12,7	12,9

Tableau 44.28 - Températures moyennes pour la station de Cecina et moyenne entre Livourne et Cecina.

4.6. Analyse des précipitations

Casacce 1959-2018		Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
		1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Casacce</i> P cumulate [mm]	Anno	775,7	767,0	770,0	-8,8	3,0	-	NS	690,8	651,9	613,1
	Inverno	217,6	175,9	181,7	-41,6	5,7	-	NS	166,3	146,6	126,9
	Primavera	181,4	174,0	171,9	-7,3	-2,2	-	NS	164,3	159,5	154,7
	Estate	112,0	108,0	96,0	-3,9	-12,1	-	NS	72,9	61,1	49,3
	Autunno	268,8	306,4	317,2	37,6	10,7	+	NS	306,0	308,1	310,2
<i>Casacce</i> P massime giornaliere [mm]	Anno	55,8	62,5	61,3	6,7	-1,2	+	NS	63,5	65,4	67,2
	Inverno	34,1	31,1	31,0	-3,0	-0,1	-	NS	27,6	25,0	22,4
	Primavera	29,7	28,3	28,9	-1,3	0,6	-	NS	26,7	25,4	24,1
	Estate	33,2	33,5	28,7	0,3	-4,8	-	NS	22,4	19,1	15,8
	Autunno	49,2	57,9	58,8	8,7	0,9	+	NS	64,8	69,1	73,4
<i>Casacce</i> N. giorni non piovosi [giorni]	Anno	283,9	286,8	287,1	2,9	0,3	+	S	294,7	298,4	302,2
	Inverno	65,2	68,5	67,8	3,3	-0,6	+	NS	68,4	69,5	70,6
	Primavera	69,8	70,7	71,8	0,9	1,1	+	NS	73,2	74,0	74,9
	Estate	80,2	80,6	81,8	0,4	1,1	+	NS	83,8	84,8	85,9
	Autunno	68,5	67,2	66,0	-1,3	-1,2	+	NS	67,6	67,9	68,2
<i>Casacce</i> CDD [giorni]	Anno	36,6	36,1	36,5	-0,5	0,5	-	NS	32,9	31,1	29,2
	Inverno	19,8	21,9	20,5	2,0	-1,4	-	NS	18,7	18,5	18,2
	Primavera	19,9	21,9	20,7	2,0	-1,2	-	NS	16,1	13,8	11,5
	Estate	33,2	33,2	33,6	0,0	0,4	+	NS	34,6	35,0	35,3
	Autunno	25,2	21,1	21,3	-4,1	0,2	-	NS	14,8	11,4	8,1
<i>Casacce</i> N. giorni piovosi [giorni]	Anno	81,4	78,5	78,0	-2,9	-0,4	-	S	70,2	66,4	62,5
	Inverno	25,1	21,8	22,4	-3,3	0,6	-	NS	21,7	20,5	19,3
	Primavera	22,2	21,3	20,2	-0,9	-1,2	-	NS	18,7	17,9	17,0
	Estate	11,8	11,4	10,2	-0,4	-1,1	-	NS	8,2	7,2	6,1
	Autunno	22,5	23,8	24,9	1,3	1,2	-	NS	23,3	22,9	22,6
<i>Casacce</i> CWD [giorni]	Anno	6,2	6,1	6,2	-0,1	0,0	-	NS	6,0	5,9	5,8
	Inverno	5,4	4,5	4,6	-0,9	0,2	-	NS	4,2	3,8	3,4
	Primavera	4,2	4,4	4,1	0,1	-0,3	+	NS	4,5	4,6	4,7
	Estate	3,3	3,1	2,9	-0,2	-0,2	-	NS	2,5	2,3	2,1
	Autunno	4,5	4,9	5,0	0,4	0,1	+	NS	4,8	4,8	4,8
<i>Casacce</i> SDII [mm/giorno]	Anno	9,6	9,8	9,9	0,2	0,0	-	NS	9,8	9,8	9,7
	Inverno	8,7	8,2	8,2	-0,5	-0,1	-	NS	8,2	7,9	7,7
	Primavera	8,2	8,2	8,7	0,0	0,4	+	NS	8,9	9,0	9,2
	Estate	9,7	9,9	9,5	0,1	-0,3	-	NS	8,8	8,5	8,2
	Autunno	11,8	12,4	12,4	0,6	0,0	+	NS	12,7	12,9	13,1
<i>Casacce</i> Percentili [giorni/anno]	P90	10,8	10,9	10,8	0,1	-0,1	-	NS	10,5	10,3	10,0
	P95	5,2	5,3	5,4	0,1	0,1	-	NS	4,9	4,6	4,3
	P99	1,1	1,3	1,2	0,2	-0,1	+	NS	1,2	1,2	1,3
<i>Casacce</i> R95p [mm]	Anno	207,5	221,2	222,2	13,8	1,0	-	NS	203,2	193,1	183,0
<i>Casacce</i> R10 [giorni]	Anno	25,8	25,1	25,8	-0,7	0,7	-	NS	23,1	21,8	20,5
	Inverno	7,2	5,7	6,4	-1,5	0,7	-	NS	6,1	5,5	5,0
	Primavera	6,1	5,9	5,8	-0,2	-0,1	-	NS	5,5	5,4	5,2
	Estate	3,5	3,4	3,3	-0,1	-0,1	-	NS	3,0	2,9	2,7
	Autunno	9,1	10,0	10,0	1,0	0,0	-	NS	9,1	8,8	8,5
<i>Casacce</i> R20 [giorni]	Anno	9,9	9,8	9,9	-0,1	0,1	-	NS	9,3	9,0	8,7
	Inverno	2,6	2,0	2,0	-0,6	0,0	-	NS	1,9	1,7	1,5
	Primavera	2,1	1,9	2,0	-0,2	0,1	-	NS	2,0	1,9	1,9
	Estate	3,5	3,4	3,3	-0,1	-0,1	-	NS	3,0	2,9	2,7
	Autunno	3,8	4,4	4,7	0,5	0,3	+	NS	4,9	5,0	5,1
<i>Casacce</i> R50 [giorni]	Anno	0,8	1,0	0,9	0,2	0,0	-	NS	0,9	0,9	0,9
	Inverno	0,2	0,1	0,1	-0,1	0,0	-	NS	0,0	0,0	-0,1
	Primavera	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-	NS	-0,1	-0,1	-0,2
	Estate	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-	NS	0,0	-0,1	-0,1
	Autunno	0,3	0,7	0,8	0,4	0,1	+	NS	1,0	1,2	1,4

Quercianella

1916-2018

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico					
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
<i>Quercianella</i>	Anno	827,4	794,9		-32,5		-	S	739,7	705,6	671,6
P cumulate	Inverno	230,2	185,8		-44,4		-	S	132,6	101,9	71,2
<i>[mm]</i>	Primavera	192,8	183,3		-9,5		-	S	153,0	140,9	128,7
	Estate	108,9	103,5		-5,4		+	NS	112,0	116,2	120,4
	Autunno	293,8	322,1		28,3		+	NS	329,4	331,9	334,5
<i>Quercianella</i>	Anno	67,6	71,2		3,6		+	NS	84,5	88,1	91,7
P massime giornaliere	Inverno	32,1	31,1		-1,0		-	S	22,9	19,3	15,6
<i>[mm]</i>	Primavera	32,9	31,1		-1,8		-	S	25,6	22,8	20,1
	Estate	37,9	36,4		-1,5		-	NS	32,6	31,7	30,8
	Autunno	56,9	63,0		6,0		+	NS	78,8	83,4	88,0
<i>Quercianella</i>	Anno	294,1	297,5		3,4		-	NS	35,8	33,9	32,0
N. giorni non piovosi	Inverno	67,3	70,8		3,5		-	NS	17,5	16,4	15,2
<i>[giorni]</i>	Primavera	72,6	72,9		0,3		-	NS	20,2	19,3	18,5
	Estate	83,0	83,7		0,7		-	NS	28,3	25,1	21,9
	Autunno	71,3	70,1		-1,2		-	NS	21,8	20,6	19,4
<i>Quercianella</i>	Anno	39,4	42,7		3,3		+	NS	71,0	71,1	71,3
CDD	Inverno	20,4	22,5		2,0		-	NS	20,6	20,1	19,7
<i>[giorni]</i>	Primavera	20,6	22,9		2,2		+	NS	19,1	19,2	19,2
	Estate	35,3	37,7		2,4		+	S	10,4	11,1	11,8
	Autunno	25,3	25,3		0,0		-	NS	20,9	20,7	20,6
<i>Quercianella</i>	Anno	71,1	67,8		-3,3		+	NS	71,0	71,1	71,3
N. giorni piovosi	Inverno	22,9	19,5		-3,4		-	NS	20,6	20,1	19,7
<i>[giorni]</i>	Primavera	19,4	19,1		-0,3		+	NS	19,1	19,2	19,2
	Estate	9,0	8,3		-0,7		+	S	10,4	11,1	11,8
	Autunno	19,7	20,9		1,2		-	NS	20,9	20,7	20,6
<i>Quercianella</i>	Anno	5,7	5,5		-0,2		-	NS	5,4	5,3	5,2
CWD	Inverno	4,8	4,0		-0,8		-	NS	4,1	4,0	3,9
<i>[giorni]</i>	Primavera	4,2	4,1		-0,1		+	NS	4,4	4,5	4,6
	Estate	2,4	2,5		0,1		+	NS	2,8	3,0	3,1
	Autunno	4,3	4,6		0,3		+	NS	4,5	4,6	4,6
<i>Quercianella</i>	Anno	11,7	11,8		0,1		-	NS	9,9	9,2	8,4
SDII	Inverno	9,7	9,4		-0,4		-	S	5,9	4,5	3,0
<i>[mm/giorno]</i>	Primavera	9,9	9,7		-0,1		-	NS	8,1	7,3	6,6
	Estate	13,1	12,9		-0,2		-	NS	10,0	9,3	8,5
	Autunno	14,9	15,4		0,5		-	NS	14,8	14,7	14,7
<i>Quercianella</i>	P90	6,8	6,9		0,1		-	S	5,4	4,5	3,6
Percentili	P95	3,4	3,5		0,1		-	NS	2,5	2,1	1,6
<i>[giorni/anno]</i>	P99	0,7	0,7		0,0		-	NS	0,3	0,1	0,0
<i>Quercianella</i>	Anno	173,6	187,8		14,2		-	NS	129,8	105,5	81,2
R95p											
<i>Quercianella</i>	Anno	29,4	27,6		-1,8		-	S	26,0	24,9	23,8
R10	Inverno	8,8	7,1		-1,8		-	S	5,8	4,9	3,9
<i>[giorni]</i>	Primavera	7,1	6,6		-0,5		-	NS	5,1	4,6	4,0
	Estate	3,6	3,4		-0,2		+	NS	3,7	3,8	4,0
	Autunno	9,9	10,6		0,6		+	NS	10,7	10,8	10,9
<i>Quercianella</i>	Anno	11,4	11,3		-0,1		-	NS	9,8	9,0	8,2
R20	Inverno	2,8	2,2		-0,6		-	S	0,5	-0,2	-1,0
<i>[giorni]</i>	Primavera	2,4	2,3		-0,1		-	NS	1,6	1,3	0,9
	Estate	1,5	1,3		-0,1		+	NS	1,6	1,7	1,8
	Autunno	4,8	5,4		0,6		+	NS	5,6	5,7	5,8
<i>Quercianella</i>	Anno	1,2	1,2		0,0		-	NS	0,8	0,6	0,4
R50	Inverno	0,1	0,1		0,0		-	NS	-0,2	-0,3	-0,4
<i>[giorni]</i>	Primavera	0,2	0,1		-0,1		-	NS	0,0	-0,1	-0,2
	Estate	0,2	0,2		0,0		+	NS	0,3	0,3	0,3
	Autunno	0,7	0,8		0,1		-	NS	0,8	0,7	0,7

Vada

1930-2018

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico					
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
<i>Vada</i>	Anno	738,6	711,6	706,3	-27,1	-5,3	-	S	601,7	554,2	506,7
P cumulate	Inverno	205,6	169,9	171,6	-35,7	1,7	-	S	147,2	128,2	109,2
<i>[mm]</i>	Primavera	166,6	157,9	149,1	-8,7	-8,8	-	S	128,5	116,8	105,0
	Estate	100,5	97,3	86,0	-3,2	-11,2	+	NS	90,9	91,1	91,3
	Autunno	270,0	284,6	290,4	14,6	5,7	-	NS	254,8	245,0	235,1
<i>Vada</i>	Anno	58,0	58,8	56,2	0,8	-2,7	-	NS	48,0	44,1	40,3
P massime giornaliere	Inverno	31,2	29,9	33,4	-1,3	3,5	+	NS	35,8	37,4	39,0
<i>[mm]</i>	Primavera	29,1	25,7	27,5	-3,4	1,8	-	NS	24,3	22,7	21,1
	Estate	36,0	37,2	29,5	1,1	-7,7	+	NS	31,2	31,3	31,3
	Autunno	48,3	49,6	49,9	1,4	0,2	-	NS	36,7	31,7	26,7
<i>Vada</i>	Anno	291,4	293,3	294,4	2,0	1,1	+	S	302,2	306,1	310,0
N. giorni non piovosi	Inverno	66,3	68,9	68,9	2,6	0,0	+	NS	69,4	70,6	71,8
<i>[giorni]</i>	Primavera	72,0	72,2	73,1	0,2	0,9	+	NS	75,3	76,4	77,5
	Estate	82,5	83,0	83,7	0,5	0,7	-	NS	83,0	82,9	82,7
	Autunno	70,4	69,3	68,3	-1,1	-1,1	+	NS	69,8	70,1	70,4
<i>Vada</i>	Anno	42,1	42,0	47,0	-0,1	5,0	+	NS	46,4	46,8	47,2
CDD	Inverno	19,8	21,6	20,9	1,8	-0,7	-	NS	18,8	18,5	18,1
<i>[giorni]</i>	Primavera	22,1	23,9	24,9	1,9	0,9	+	NS	26,5	27,7	29,0
	Estate	38,0	37,5	39,9	-0,5	2,4	-	NS	35,1	33,6	32,1
	Autunno	28,3	25,6	24,2	-2,7	-1,4	-	NS	18,8	18,5	18,1
<i>Vada</i>	Anno	73,9	71,9	69,4	-1,9	-2,5	-	S	60,6	56,1	51,6
N. giorni piovosi	Inverno	24,0	21,3	20,5	-2,6	-0,8	-	NS	19,5	18,0	16,5
<i>[giorni]</i>	Primavera	20,0	19,8	18,3	-0,2	-1,5	-	NS	15,7	14,4	13,1
	Estate	9,5	9,0	8,2	-0,5	-0,8	+	NS	8,9	9,0	9,1
	Autunno	20,6	21,7	22,4	1,1	0,7	-	NS	20,6	20,1	19,6
<i>Vada</i>	Anno	5,9	6,0	5,9	0,1	-0,1	-	NS	5,0	4,6	4,2
CWD	Inverno	4,8	4,4	4,2	-0,4	-0,2	-	NS	3,8	3,4	3,0
<i>[giorni]</i>	Primavera	4,0	4,3	4,2	0,2	-0,1	-	NS	4,0	3,9	3,8
	Estate	2,6	2,4	2,4	-0,2	0,0	-	NS	2,2	2,2	2,1
	Autunno	4,7	4,7	4,7	0,1	-0,1	-	NS	4,0	3,7	3,4
<i>Vada</i>	Anno	10,1	9,9	10,1	-0,1	0,1	-	NS	9,8	9,8	9,7
SDII	Inverno	8,6	8,0	8,2	-0,6	0,2	-	NS	7,8	7,5	7,2
<i>[mm/giorno]</i>	Primavera	8,4	7,9	8,2	-0,5	0,3	-	NS	8,3	8,3	8,3
	Estate	10,3	10,7	10,2	0,4	-0,5	+	NS	10,7	10,9	11,0
	Autunno	12,9	12,9	13,0	0,0	0,0	-	NS	11,9	11,6	-1,7
<i>Vada</i>	P90	9,9	9,4	8,9	-0,5	-0,5	-	NS	8,3	7,7	7,2
Percentili	P95	4,4	4,5	4,9	0,2	0,4	-	NS	4,6	4,5	4,4
<i>[giorni/anno]</i>	P99	1,2	1,0	1,1	-0,1	0,0	-	NS	1,0	1,0	0,9
<i>Vada</i>	Anno	194,4	214,3	198,5	19,9	-15,8	-	NS	183,0	176,0	169,0
R95p [mm]											
<i>Vada</i>	Anno	25,3	24,2	23,9	-1,1	-0,3	-	S	20,4	18,8	17,2
R10	Inverno	7,5	6,6	6,1	-0,9	-0,5	-	S	4,8	4,0	3,1
<i>[giorni]</i>	Primavera	5,8	5,7	5,2	-0,1	-0,5	-	S	4,3	3,8	3,4
	Estate	3,0	2,9	2,7	-0,1	-0,1	-	NS	2,6	2,5	2,4
	Autunno	9,2	9,2	9,4	0,0	0,2	-	NS	8,9	8,7	8,5
<i>Vada</i>	Anno	9,6	9,1	9,0	-0,5	-0,1	-	NS	8,2	7,8	7,3
R20	Inverno	2,2	1,8	1,6	-0,4	-0,2	-	NS	1,6	1,4	1,2
<i>[giorni]</i>	Primavera	1,9	1,7	1,6	-0,1	-0,2	-	NS	1,1	0,9	0,7
	Estate	1,3	1,3	1,2	0,1	-0,2	+	NS	1,5	1,5	1,6
	Autunno	4,3	4,3	4,6	0,0	0,3	-	NS	4,4	4,4	4,4
<i>Vada</i>	Anno	0,9	0,8	0,8	-0,1	0,0	-	NS	0,7	0,7	0,7
R50	Inverno	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	+	NS	0,2	0,3	0,3
<i>[giorni]</i>	Primavera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	NS	0,0	0,0	0,0
	Estate	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	+	NS	0,2	0,2	0,2
	Autunno	0,5	0,4	0,5	-0,1	0,1	-	NS	0,4	0,3	0,3

Quercioletta

1974-2010

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	MKT	2021-2050	2041-2070	2061-2090
<i>Quercioletta</i>	Anno	751,2	765,7		14,5	+	NS	892,9	955,4	1017,9
P cumulate	Inverno	164,1	179,8		15,8	+	NS	263,0	302,2	341,5
<i>[mm]</i>	Primavera	175,0	169,5		-5,5	-	NS	131,1	112,3	93,4
	Estate	102,0	89,4		-12,6	-	S	34,3	6,4	-21,4
	Autunno	308,3	311,6		3,2	+	NS	399,6	447,1	494,6
<i>Quercioletta</i>	Anno	66,5	68,5		2,0	+	NS	84,8	93,8	102,9
P massime giornaliere	Inverno	29,2	32,4		3,2	+	NS	47,7	55,5	63,2
<i>[mm]</i>	Primavera	31,8	33,0		1,2	+	NS	40,5	44,4	48,3
	Estate	32,9	30,4		-2,5	-	NS	17,9	11,5	5,1
	Autunno	60,8	61,2		0,5	+	NS	70,5	76,6	82,7
<i>Quercioletta</i>	Anno	290,8	292,2		1,3	+	NS	294,8	296,3	297,9
N. giorni non piovosi	Inverno	70,0	68,3		-1,7	-	NS	60,9	57,6	54,2
<i>[giorni]</i>	Primavera	71,5	73,4		1,9	+	S	81,1	85,1	89,0
	Estate	81,8	83,5		1,7	+	S	91,8	95,9	100,0
	Autunno	68,1	68,3		0,2	-	NS	65,5	63,9	62,4
<i>Quercioletta</i>	Anno	42,2	42,4		0,2	-	NS	42,4	42,2	42,0
CDD	Inverno	23,0	24,1		1,1	+	NS	29,1	31,4	33,8
<i>[giorni]</i>	Primavera	22,8	23,4		0,5	+	NS	28,0	30,5	33,0
	Estate	37,8	40,2		2,4	+	NS	48,5	52,7	56,9
	Autunno	25,3	28,1		2,8	+	NS	43,7	50,8	57,9
<i>Quercioletta</i>	Anno	74,4	72,4		-2,1	-	NS	66,7	63,7	60,7
N. giorni piovosi	Inverno	20,3	21,4		1,2	+	NS	26,8	29,2	31,6
<i>[giorni]</i>	Primavera	20,5	18,6		-1,9	-	S	10,9	6,9	3,0
	Estate	10,2	8,5		-1,7	-	S	0,2	-3,9	-8,0
	Autunno	22,9	22,5		-0,4	+	NS	24,3	25,3	26,4
<i>Quercioletta</i>	Anno	6,2	6,1		-0,1	+	NS	6,8	7,0	7,3
CWD	Inverno	4,2	4,6		0,4	+	NS	6,3	7,1	7,9
<i>[giorni]</i>	Primavera	4,2	3,8		-0,4	-	NS	2,5	1,8	1,2
	Estate	2,7	2,4		-0,3	-	NS	1,6	1,1	0,7
	Autunno	4,9	4,7		-0,3	-	NS	4,6	4,6	4,6
<i>Quercioletta</i>	Anno	10,2	10,6		0,4	+	NS	12,8	13,9	15,0
SDII	Inverno	8,1	8,3		0,1	+	S	8,9	9,1	9,4
<i>[mm/giorno]</i>	Primavera	8,7	9,1		0,4	+	NS	10,6	11,4	12,2
	Estate	10,2	11,3		1,0	+	S	16,5	19,0	21,5
	Autunno	13,2	13,2		0,0	+	NS	14,7	15,5	16,4
<i>Quercioletta</i>	P90	9,2	9,9		0,7	+	NS	14,5	16,8	19,1
Percentili	P95	4,6	5,0		0,4	+	NS	7,7	9,1	10,4
<i>[giorni/anno]</i>	P99	1,0	1,1		0,1	+	NS	2,1	2,7	3,2
<i>Quercioletta</i>	Anno	208,5	225,1		16,7	+	NS	342,1	402,8	463,4
R95p	<i>[mm]</i>									
<i>Quercioletta</i>	Anno	24,6	24,6		-0,1	+	NS	31,8	34,7	37,6
R10	Inverno	5,4	5,7		0,3	+	NS	7,4	8,2	9,0
<i>[giorni]</i>	Primavera	6,2	5,6		-0,7	-	NS	3,5	2,4	1,3
	Estate	3,2	3,0		-0,2	-	NS	2,1	1,7	1,2
	Autunno	9,7	10,0		0,3	+	NS	13,9	15,7	17,6
<i>Quercioletta</i>	Anno	9,5	10,0		0,4	+	NS	14,4	16,5	18,5
R20	Inverno	1,6	1,6		0,0	+	NS	2,8	3,3	3,8
<i>[giorni]</i>	Primavera	1,8	2,0		0,2	+	NS	2,7	3,1	3,4
	Estate	1,5	1,4		-0,1	-	NS	0,9	0,7	0,5
	Autunno	4,7	5,0		0,3	+	NS	6,1	6,8	7,5
<i>Quercioletta</i>	Anno	1,0	1,1		0,1	-	NS	2,2	2,7	0,7
R50	Inverno	0,0	0,1		0,0	+	NS	0,4	0,6	0,7
<i>[giorni]</i>	Primavera	0,1	0,1		0,0	+	NS	0,1	0,1	0,1
	Estate	0,2	0,2		0,0	+	NS	0,3	0,3	0,3
	Autunno	0,6	0,7		0,1	+	NS	1,2	1,4	1,7

Media stazioni

	Valore climatologico			Differenza valori climatologici		Previsione lineare da trend storico				
	1961-1990 (1)	1971-2000 (2)	1981-2010 (3)	(2)-(1)	(3)-(2)	Trend	2021-2050	2041-2070	2061-2090	
<i>Media stazioni</i>	Anno	780,6	756,1	747,3	-24,4	-8,8	-	731,3	716,8	702,3
P cumulate	Inverno	217,8	173,9	177,7	-43,9	3,8	-	177,3	169,7	162,2
<i>[mm]</i>	Primavera	180,3	172,6	163,5	-7,7	-9,1	-	144,2	132,3	120,5
	Estate	107,1	102,7	90,5	-4,4	-12,2	-	77,5	68,7	59,9
	Autunno	277,6	305,4	306,4	27,8	1,0	+	322,5	333,0	343,6
<i>Media stazioni</i>	Anno	60,5	64,8	62,0	4,3	-2,8	+	70,2	72,9	75,5
P massime giornaliere	Inverno	32,5	30,3	32,3	-2,1	2,0	+	33,5	34,3	35,1
<i>[mm]</i>	Primavera	30,5	29,2	29,8	-1,3	0,6	-	29,3	28,8	28,4
	Estate	35,7	35,0	29,6	-0,7	-5,4	-	26,0	23,4	20,7
	Autunno	51,5	57,8	56,6	6,3	-1,2	+	62,7	65,2	67,7
<i>Media stazioni</i>	Anno	289,8	292,1	291,2	2,3	-0,9	+	231,9	233,7	235,5
N. giorni non piovosi	Inverno	66,2	69,5	68,4	3,3	-1,2	-	54,1	53,5	53,0
<i>[giorni]</i>	Primavera	71,5	71,8	72,8	0,3	0,9	+	62,5	63,7	65,0
	Estate	81,9	82,3	83,0	0,4	0,7	+	71,7	72,2	72,6
	Autunno	70,1	68,7	67,5	-1,4	-1,2	-	56,2	55,6	55,1
<i>Media stazioni</i>	Anno	39,4	40,7	42,0	1,4	1,2	-	48,2	47,8	47,4
CDD	Inverno	20,0	22,2	21,8	2,2	-0,4	+	21,8	22,1	22,5
<i>[giorni]</i>	Primavera	20,9	22,9	23,0	2,0	0,1	+	22,4	22,8	23,2
	Estate	35,5	36,5	37,9	1,0	1,4	+	32,1	33,1	34,0
	Autunno	26,2	24,3	24,5	-1,9	0,2	+	24,5	25,4	26,2
<i>Media stazioni</i>	Anno	75,4	73,1	73,3	-2,3	0,1	-	67,2	64,3	61,5
N. giorni piovosi	Inverno	24,0	20,7	21,4	-3,3	0,7	-	22,1	22,0	21,8
<i>[giorni]</i>	Primavera	20,5	20,2	19,1	-0,3	-1,1	-	16,1	14,6	13,1
	Estate	10,1	9,7	9,0	-0,4	-0,7	-	6,9	5,8	4,8
	Autunno	20,9	22,3	23,3	1,4	1,0	+	22,3	22,3	22,3
<i>Media stazioni</i>	Anno	5,9	6,0	6,1	0,0	0,1	-	5,8	5,7	5,6
CWD	Inverno	5,0	4,3	4,5	-0,7	0,2	-	4,6	4,6	4,6
<i>[giorni]</i>	Primavera	4,1	4,2	4,0	0,1	-0,2	-	3,8	3,7	3,6
	Estate	2,8	2,7	2,6	-0,1	-0,1	-	2,3	2,1	2,0
	Autunno	4,5	4,8	4,8	0,3	0,0	-	4,5	4,4	4,3
<i>Media stazioni</i>	Anno	10,4	10,4	10,2	0,0	-0,3	+	10,6	10,6	10,7
SDII	Inverno	9,0	8,4	8,2	-0,6	-0,2	-	7,7	7,3	6,8
<i>[mm/giorno]</i>	Primavera	8,8	8,6	8,7	-0,2	0,0	+	9,0	9,0	9,1
	Estate	11,0	10,9	10,3	-0,1	-0,6	+	11,5	11,9	12,3
	Autunno	13,2	13,5	12,9	0,3	-0,6	-	13,5	13,7	10,6
<i>Media stazioni</i>	P90	9,2	9,1	9,9	-0,1	0,8	+	9,7	9,8	10,0
Percentili	P95	4,3	4,5	5,1	0,1	0,6	+	4,9	5,1	5,2
<i>[giorni/anno]</i>	P99	1,0	1,0	1,1	0,0	0,1	+	1,2	1,3	1,3
<i>Media stazioni</i>	Anno	191,8	208,0	215,3	16,1	7,3	+	214,5	219,3	224,2
R95p [mm]										
<i>Media stazioni</i>	Anno	26,8	25,4	24,7	-1,4	-0,6	-	25,3	25,0	24,8
R10	Inverno	7,8	6,2	6,1	-1,7	-0,1	-	6,0	5,7	5,3
<i>[giorni]</i>	Primavera	6,3	6,1	5,5	-0,2	-0,6	-	4,6	4,0	3,5
	Estate	3,4	3,2	3,0	-0,1	-0,2	-	2,9	2,7	2,6
	Autunno	9,4	9,9	9,8	0,5	-0,1	+	10,7	11,0	11,4
<i>Media stazioni</i>	Anno	10,3	9,9	9,6	-0,4	-0,3	+	10,4	10,6	10,7
R20	Inverno	2,5	1,9	1,7	-0,6	-0,1	-	1,7	1,5	1,4
<i>[giorni]</i>	Primavera	2,1	2,0	1,9	-0,2	-0,1	-	1,9	1,8	1,7
	Estate	2,1	1,9	2,0	-0,2	0,1	-	1,8	1,7	1,6
	Autunno	4,3	4,7	4,8	0,4	0,0	+	5,3	5,5	5,7
<i>Media stazioni</i>	Anno	0,9	1,0	0,9	0,0	0,0	-	1,2	1,2	0,7
R50	Inverno	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	+	0,1	0,1	0,1
<i>[giorni]</i>	Primavera	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-0,1
	Estate	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	-	0,2	0,2	0,2
	Autunno	0,5	0,6	0,7	0,1	0,0	+	0,8	0,9	1,0

Anno	P cumulate annue [mm]						P massime giornaliere annue [mm]					
	Casacce (1959- 2018)	Quercian ella (1916- 2018)	Vada (1930- 2018)	Querciol etta (1974- 2010)	Cecina (1921- 2018)	Livorno (1916- 2018)	Casacce (1959- 2018)	Quercian ella (1916- 2018)	Vada (1930- 2018)	Querciol etta (1974- 2010)	Cecina (1921- 2018)	Livorno (1916- 2018)
1916		1126,2				1043,3		105,0				69,3
1917						763,6						46,6
1918		735,8				607,4		51,0				45,5
1919												
1920												
1921		610,6			453,1	557,4		45,7			39,0	26,0
1922		873,6			604,3	723,2		75,3			39,0	27,0
1923		824,0			636,4	764,6		67,0			67,2	52,0
1924		839,7			673,6	670,5		78,6			56,5	102,5
1925		980,6			728,1	676,0		67,0			42,0	50,0
1926		1498,4			801,6	863,2		100,0			45,0	48,0
1927					641,0	826,2					50,0	39,0
1928		998,9			802,8	877,2		110,5			55,0	52,0
1929		695,3			488,5	628,7		50,0			28,0	58,4
1930		812,5			729,6	839,1		50,0			58,5	86,8
1931		742,8	737,0		611,7	786,3		55,5	46,0		34,2	57,0
1932		946,1			757,5	913,8		86,0			49,0	54,0
1933		787,2	975,1		893,8	705,9		61,0	96,7		40,2	77,2
1934		928,8	970,8		971,7	892,5		48,9	93,6		112,4	41,7
1935		1043,7	960,7		947,0	1090,8		98,3	98,0		82,8	159,6
1936		945,2	815,8		880,8	857,5		99,7	91,4		156,2	51,6
1937		1273,1	1093,9		954,6	1246,4		44,8	42,4		44,9	73,6
1938												
1939		846,6	945,2		856,1	872,2		40,5	68,0		42,4	67,2
1940		1070,3	814,9		741,1	930,4		162,3	66,2		49,0	106,6
1941		913,4	849,1		757,5	900,4		58,3	85,0		32,0	54,6
1942												
1943												
1944												
1945												
1946												
1947												
1948						527,6						36,8
1949						923,8						88,4
1950						870,6						50,0
1951		907,8				823,6		74,8				50,2
1952		775,5	599,2			731,8		69,0	31,4			53,0
1953		942,3	712,8			803,2		60,0	64,4			52,0
1954		746,5	675,0			674,8		80,4	47,0			70,6
1955		710,6	741,8		827,7	752,1		53,8	109,0		102,0	75,8
1956		915,3	673,9		709,0	575,0		62,2	35,8		45,0	26,4
1957		662,7	459,2		465,0	607,0		37,3	43,4		52,5	29,2
1958		717,5	623,8		684,2	591,0		37,6	61,0		84,2	40,4
1959	790,8	1071,1	666,2		698,0	881,6	41,2	53,5	27,0		36,0	51,0
1960	1207,2	1316,9	1047,6		1186,4	1070,4	53,6	63,5	55,4		76,5	52,2
1961	979,0	1087,3	841,2		890,6	944,8	88,2	87,0	64,2		80,0	84,0
1962	791,6		759,6		937,5	715,2	51,4		59,6		74,5	59,0
1963	1055,0	1057,7	749,0		804,5	984,2	68,0	61,0	33,0		45,0	60,8
1964	883,2	907,8	845,8		813,4	922,8	49,0	50,1	58,6		51,5	180,0
1965	975,6	1053,2	963,3		874,7	864,7	79,4	73,0	84,6		48,0	72,0

1966	979,1	960,5	1002,0		987,3	1015,0	46,0	88,0	62,4		75,0	80,6
1967	641,4	662,8	718,0		693,0	565,4	48,0	40,5	44,4		54,0	48,6
1968	773,8	775,8	615,0		676,8	712,8	57,0	54,0	39,8		50,0	59,0
1969	905,2	903,8	922,6		871,1	863,6	40,6	50,5	53,8		47,0	47,0
1970	678,4	634,5	664,6		656,8	756,6	41,6	63,5	78,4		82,0	195,8
1971	464,4	841,5	865,9		909,0	837,4	49,4	150,5	110,6		123,0	134,2
1972	696,2	829,3	639,2			680,8	39,0	38,5	33,6			39,8
1973	720,8	702,1	557,6			660,4	94,2	100,0	68,0			93,4
1974	738,8	819,2	576,4	691,8		596,8	44,0	76,5	39,4	50,0		40,8
1975	796,4	964,0	731,2	623,8	661,5	816,8	95,2	68,5	43,0	41,0	40,0	65,0
1976	885,4	981,5	920,4	929,8	973,8	975,8	66,2	58,5	180,0	94,8	143,5	79,6
1977	776,0	804,0	727,6	649,2	798,7	711,6	48,6	53,5	36,0	32,4	60,8	45,0
1978	657,0	799,3	526,8	640,0	788,5	550,4	42,0	35,0	27,2	36,0	51,3	30,4
1979	914,0	995,3	863,0		826,5	941,4	36,0	65,5	38,4		38,0	64,6
1980	737,4	810,7	652,8	717,2	777,8	822,0	47,2	46,5	31,2	36,6	50,8	62,2
1981	738,0	601,2	671,6	663,0	789,3	686,4	47,0	50,0	46,8	53,6	62,3	59,8
1982	572,0	628,0	581,2	532,6	695,1	606,4	53,4	30,0	54,0	53,0	66,3	44,2
1983	646,4	678,6	647,6	623,0	559,5	590,2	61,6	43,0	61,8	46,6	64,7	31,2
1984	987,2	1163,1	1066,8	1057,5	1005,4	1164,4	56,0	68,0	48,8	49,8	50,8	96,6
1985	582,0	717,3	478,2	569,8	450,6	641,8	39,4	48,0	38,4	40,6	36,2	38,6
1986	687,8	590,1	563,4	639,8	774,8	673,6	36,6	50,5	28,2	43,0	44,7	58,0
1987	634,2	645,6	739,4	668,4	688,6	653,2	41,8	71,0	82,0	54,8	72,3	67,8
1988	712,8	620,4	626,6	798,8	755,6	664,6	79,8	127,4	49,0	126,6	88,6	123,6
1989	691,2	669,2	749,4	707,2	822,8	650,8	40,6	83,0	57,2	40,2	56,8	46,8
1990	971,6	1090,5	893,0	969,9	893,0	1079,2	87,6	129,0	87,8	68,8	87,8	122,6
1991	1068,6	818,0	994,2	892,8	1005,2	842,2	107,2	59,0	133,4	91,8	140,0	61,0
1992	985,8	931,6	841,7	927,2	855,4	862,6	75,2	80,4	53,4	86,2	50,2	66,0
1993	924,8	795,4	737,0	1007,4	919,4	812,0	148,8	102,6	53,6	194,0	92,2	143,8
1994	724,8	715,4	629,8	749,6	677,4	698,2	54,4	43,0	40,0	85,6	50,0	51,6
1995	807,4	803,4	654,0	819,2	826,1	595,0	56,2	58,6	37,6	62,6	121,4	61,4
1996	986,0	798,8	934,6	928,6	916,8	837,2	63,0	33,2	62,4	67,8	57,8	76,4
1997	618,9	691,0	522,3	538,8	568,8	640,4	52,2	109,4	36,8	60,4	88,2	51,0
1998	588,4	603,6	455,2	515,5	495,8	538,8	43,8	49,0	25,8	41,0	45,6	23,6
1999	802,2	766,2	788,4	794,2	821,8	744,0	109,8	56,4	81,4	122,8	123,4	55,6
2000	892,0	971,2	712,0	976,4	210,0	698,2	60,0	152,4	78,8	93,6	22,0	117,8
2001	653,2	720,5	717,0	656,8	197,6	727,6	58,4	84,8	83,0	52,0	48,4	73,6
2002	796,6	922,2	842,2	916,4	786,2	878,4	47,0	56,0	54,2	65,6	42,8	38,0
2003	498,8		490,8	580,6	404,6	756,4	41,0		36,2	38,0	34,0	51,4
2004	792,0		627,3			965,0	40,0		38,0			79,8
2005	550,9		606,1	657,7		808,4	43,0		39,4	47,8		86,0
2006	594,2			542,2		792,8	70,4		77,2	74,9		129,6
2007						584,4						50,0
2008			629,6	615,8		397,8	65,0		47,0	33,8		33,2
2009			252,9	768,0		1049,8	46,0		36,2	64,0		86,0
2010			1324,0	1322,2		1431,2	52,4		60,0	60,0		70,2
2011						447,4	34,8					39,2
2012					662,8	752,2					39,8	93,0
2013					884,2	962,8					79,2	57,8
2014					1298,2	1392,8					142,6	83,4
2015		775,8	712,4		765,4	713,8	54,2	68,6	63,2		69,6	46,4
2016		984,6	752,2		860,8	814,2	55,4	71,8	48,2		47,2	61,0
2017		902,0	521,4		512,4	751,4	92,4	262,4	71,6		75,4	158,6

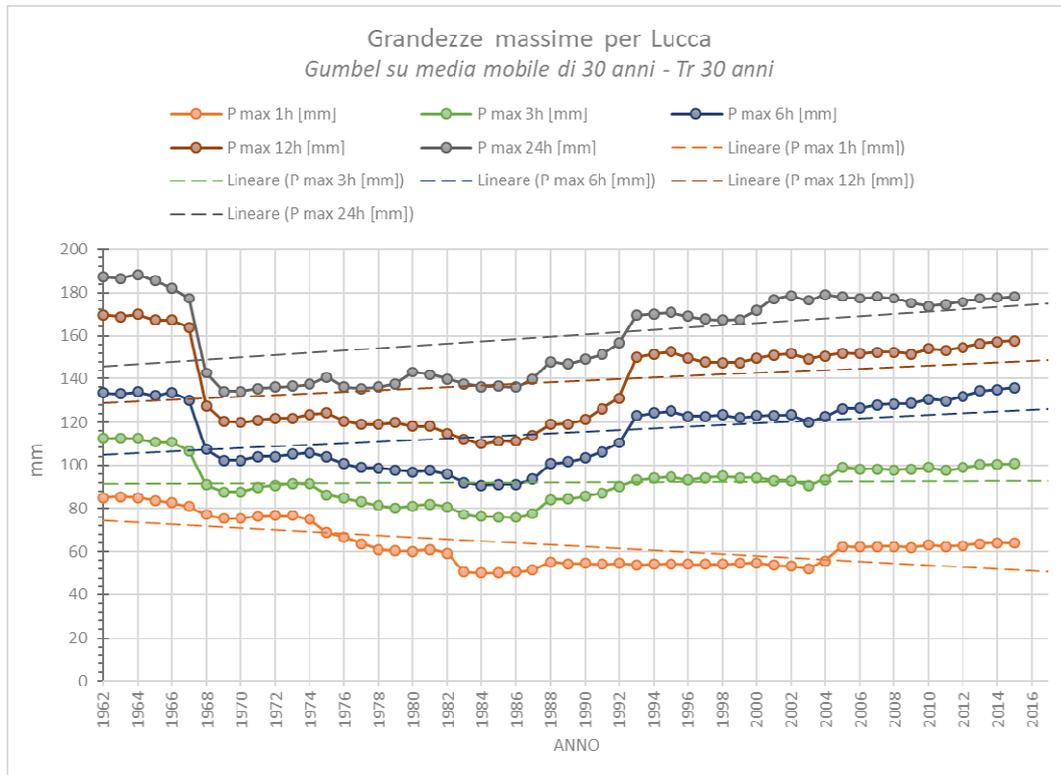
Tableau 44.29 - Comparaison entre les stations du territoire de Rosignano et des environs en ce qui concerne les précipitations cumulées annuelles et les précipitations journalières maximales annuelles.

Anno	MASSIMI ANNUALI PRECIPITAZIONE OSSERVATI [mm]					MASSIMI scalati per Rosignano [mm]					T media	T max media	T min media
	Durata					Durata					[°C]	[°C]	[°C]
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h			
1933	23,4	59,0	66,8	76,6	78,4	20,4	51,5	58,3	66,9	68,5			15,7
1934													16,2
1935	78,3	110,0	143,0	155,7	169,2	68,4	96,1	124,9	136,0	147,8			15,9
1936	46,4	46,6	46,6	47,6	52,8	40,5	40,7	40,7	41,6	46,1			16,5
1937	43,6	50,8	56,8	61,2	89,4	38,1	44,4	49,6	53,5	78,1			16,5
1938													16,3
1939	35,4					30,9	0,0	0,0	0,0	0,0			16,2
1940	70,8	86,2	98,0	120,4	122,4	61,8	75,3	85,6	105,2	106,9			15,1
1941	30,4	39,8	46,2	60,8	65,0	26,6	34,8	40,4	53,1	56,8			15,2
1942	40,0	77,6	93,6	149,8	162,4	34,9	67,8	81,8	130,8	141,8			15,7
1943													
1944													
1945													
1946													
1947													
1948	31,2	33,2	34,8	36,4	36,8	27,3	29,0	30,4	31,8	32,1			
1949	36,0	52,0	66,0	88,4	88,4	31,4	45,4	57,6	77,2	77,2			
1950	33,8	42,2	45,4	78,8	79,2	29,5	36,9	39,7	68,8	69,2			
1951	18,0	25,0	33,0	43,0	50,4	15,7	21,8	28,8	37,6	44,0	15,7	19,0	12,3
1952	32,6	43,0	51,4	54,8	81,0	28,5	37,6	44,9	47,9	70,7	15,6	19,0	12,2
1953	35,0	35,0	35,0	40,4	52,0	30,6	30,6	30,6	35,3	45,4	15,4	18,9	11,8
1954	48,2	69,0	69,0	70,6	70,6	42,1	60,3	60,3	61,7	61,7	14,7	18,2	11,3
1955	77,8	77,8	77,8	77,8	79,2	68,0	68,0	68,0	68,0	69,2	15,6	19,1	12,2
1956	13,0	19,4	29,0	29,6	29,6	11,4	16,9	25,3	25,9	25,9	14,3	17,7	10,9
1957	21,8	22,4	22,6	23,6	46,8	19,0	19,6	19,7	20,6	40,9	15,4	19,0	11,8
1958	18,8	25,4	30,6	41,0	41,0	16,4	22,2	26,7	35,8	35,8	15,6	19,1	12,1
1959	23,2	43,2	50,4	80,4	88,4	20,3	37,7	44,0	70,2	77,2	15,7	19,9	11,5
1960	29,6	38,6	45,4	45,4	57,8	25,9	33,7	39,7	39,7	50,5	14,4	18,4	10,4
1961	47,2	74,2	82,6	84,8	88,6	41,2	64,8	72,1	74,1	77,4	16,2	19,8	12,6
1962	28,8	46,6	55,2	59,0	60,0	25,2	40,7	48,2	51,5	52,4	15,4	18,9	11,9
1963	45,4	54,2	60,6	60,6	71,6	39,7	47,3	52,9	52,9	62,5	15,3	18,7	11,9
1964	87,0	125,6	151,8	153,0	180,8	76,0	109,7	132,6	133,6	157,9	16,0	19,4	12,6
1965	38,0	42,2	65,2	68,0	72,0	33,2	36,9	56,9	59,4	62,9	15,0	18,7	11,2
1966	34,6	67,0	75,8	75,8	83,0	30,2	58,5	66,2	66,2	72,5	15,0	18,7	11,3
1967	48,0	48,6	48,6	48,6	48,6	41,9	42,4	42,4	42,4	42,4	15,7	19,0	12,4
1968	37,0	53,2	58,6	58,8	68,2	32,3	46,5	51,2	51,4	59,6	15,3	18,6	12,1
1969	27,0	47,0	47,0	47,0	47,0	23,6	41,1	41,1	41,1	41,1	15,3	18,6	12,0
1970	87,0	138,4	141,6	157,6	195,8	76,0	120,9	123,7	137,7	171,0	15,5	18,7	12,3
1971	47,0	75,8	111,6	115,8	146,0	41,1	66,2	97,5	101,1	127,5	15,8	19,2	12,3
1972	19,8	29,4	30,8	39,8	41,2	17,3	25,7	26,9	34,8	36,0	15,5	18,7	12,3
1973	55,8	56,8	56,8	56,8	93,4	48,7	49,6	49,6	49,6	81,6	15,8	19,3	12,3
1974	34,8	35,8	36,0	36,0	41,6	30,4	31,3	31,4	31,4	36,3	15,5	18,8	12,3
1975	35,6	58,6	65,0	65,0	65,0	31,1	51,2	56,8	56,8	56,8	15,6	19,0	12,3
1976	41,0	49,0	70,4	78,2	79,6	35,8	42,8	61,5	68,3	69,5	15,5	18,9	12,0
1977	18,0	27,4	29,6	34,0	34,0	15,7	23,9	25,9	29,7	29,7	15,7	18,9	12,5
1978	18,0	27,0	28,6	30,4	30,4	15,7	23,6	25,0	26,6	26,6	15,3	18,6	12,0
1979	29,6	50,2	60,4	60,4	65,2	25,9	43,8	52,8	52,8	56,9	15,7	19,0	12,5
1980	31,0	56,2	57,6	61,0	80,6	27,1	49,1	50,3	53,3	70,4	14,7	17,9	11,4
1981	31,2	47,6	47,6	55,0	60,8	27,3	41,6	41,6	48,0	53,1	15,4	18,7	12,1
1982	19,2	20,4	25,6	37,0	44,2	16,8	17,8	22,4	32,3	38,6	16,1	19,4	12,7
1983	24,6	24,8	29,6	36,2	36,2	21,5	21,7	25,9	31,6	31,6	15,8	19,2	12,5
1984	49,6	59,0	87,6	96,6	96,6	43,3	51,5	76,5	84,4	84,4	15,0	18,2	11,9
1985	20,4	26,6	31,6	31,6	38,6	17,8	23,2	27,6	27,6	33,7	15,9	19,1	12,7
1986	29,4	36,6	36,6	44,8	57,4	25,7	32,0	32,0	39,1	50,1	15,9	19,3	12,5
1987	38,4	55,2	58,8	66,0	67,8	33,5	48,2	51,4	57,6	59,2	16,0	19,3	12,7
1988	34,6	66,4	87,5	120,0	123,6	30,2	58,0	76,4	104,8	108,0	16,1	19,5	12,7
1989	36,6	45,0	46,8	46,8	63,0	32,0	39,3	40,9	40,9	55,0	16,2	19,9	12,5
1990	72,8	93,0	118,0	122,6	122,8	63,6	81,2	103,1	107,1	107,3	16,8	20,1	13,4
1991	26,0	44,2	58,4	61,0	61,0	22,7	38,6	51,0	53,3	53,3	15,5	18,9	12,0
1992	29,6	33,2	33,2	56,2	79,0	25,9	29,0	29,0	49,1	69,0	16,4	19,7	13,1
1993	91,2	113,4	115,2	123,8	143,8	79,7	99,0	100,6	108,1	125,6	16,2	19,4	13,0
1994	20,6	29,2	53,4	65,0	65,2	18,0	25,5	46,6	56,8	56,9	16,8	20,1	13,5
1995	32,2	61,4	61,4	61,4	61,4	28,1	53,6	53,6	53,6	53,6	16,4	19,8	13,0
1996	70,8	74,4	74,6	74,6	74,6	61,8	65,0	65,2	65,2	65,2	16,0	19,5	12,6
1997	32,6	47,8	50,8	50,8	51,0	28,5	41,7	44,4	44,4	44,5	16,3	20,3	12,4
1998	12,6	22,4	25,8	27,0	34,2	11,0	19,6	22,5	23,6	29,9	15,7	19,5	11,9
1999	25,8	40,6	44,0	52,6	59,6	22,5	35,5	38,4	45,9	52,1	16,1	19,8	12,3
2000	20,0	53,2	78,6	96,6	120,6	17,5	46,5	68,7	84,4	105,3	16,6	20,2	12,9
2001	25,2	60,0	73,0	73,2	73,4	22,0	52,4	63,8	63,9	64,1	16,1	19,4	12,8
2002	15,4	23,4	27,6	35,2	41,2	13,5	20,4	24,1	30,7	36,0	16,4	19,6	13,3
2003											16,6	20,0	13,2
2004	54,8	73,4	76,4	78,2	79,8	47,9	64,1	66,7	68,3	69,7	16,1	19,3	12,9
2005	30,6	55,4	65,4	80,6	86,0	26,7	48,4	57,1	70,4	75,1	15,5	18,9	12,0
2006	42,0	89,8	98,2	111,4	129,6	36,7	78,4	85,8	97,3	113,2	16,6	20,1	13,2
2007	22,2	22,4	35,2	48,8	69,8	19,4	19,6	30,7	42,6	61,0	16,4	19,8	13,1
2008	29,4	41,6	44,2	44,2	50,4	25,7	36,3	38,6	38,6	44,0	16,2	19,5	12,9
2009	51,8	76,8	82,0	90,4	95,0	45,2	67,1	71,6	79,0	83,0	16,6	20,1	13,2
2010	39,8	40,2	40,2	58,0	60,0	34,8	35,1	35,1	50,7	52,4	16,1	19,5	12,7
2011	13,6	14,0	20,4	23,0	30,0	11,9	12,2	17,8	20,1	26,2			
2012	44,4	69,0	92,4	100,2	101,0	38,8	60,3	80,7	87,5	88,2			
2013	37,6	41,8	42,2	55,0	70,6	32,8	36,5	36,9	48,0	61,7			
2014	41,0	50,8	52,0	69,0	92,0	35,8	44,4	45,4	60,3	80,4			
2015	26,6	42,8	45,4	45,4	52,6	23,2	37,4	39,7	39,7	45,9			
2016													
2017	63,4	79,2	131,6	158,4	186,8	55,4	69,2	114,9	138,4	163,2			
MKT	NS	NS	NS	NS	NS						S	S	S

Statistiche campione	Media M	37,6	52,5	60,9	68,9	77,5	32,8	45,2	52,5	59,4	66,8	15,8	19,2	12,3
	Varianza σ^2	328,4	613,2	892,3	1127,5	1442,4	250,6	489,2	708,8	896,3	1146,0	0,3	0,3	0,4
Parametri di Gumbel da metodo momenti	N = M - 0,45 σ	29,4	41,3	47,4	53,8	60,4	25,7	35,3	40,5	45,9	51,6	h max probabilità		posizione
	1/ α = 0,7797 σ	14,1	19,3	23,3	26,2	29,6	12,3	17,2	20,8	23,3	26,4			forma

Tr	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
(anni)	$x(Tr) = N + 1/\alpha * Y$									
2	34,6	48,4	56,0	63,4	71,3	30,2	41,6	48,1	54,5	61,2
5	50,6	70,3	82,4	93,1	104,8	44,2	61,1	71,6	81,0	91,2
10	61,2	84,8	99,9	112,7	127,1	53,4	74,1	87,2	98,5	111,0
25	74,6	103,1	121,9	137,6	155,1	65,2	90,4	106,9	120,6	136,0
30	77,2	106,7	126,3	142,4	160,6	67,4	93,6	110,8	124,9	140,9
50	84,5	116,7	138,3	156,0	176,0	73,8	102,6	121,5	137,0	154,6
100	94,4	130,1	154,6	174,3	196,6	82,5	114,6	136,0	153,3	173,0
200	104,2	143,6	170,8	192,5	217,2	91,0	126,6	150,4	169,6	191,4
500	117,2	161,3	192,2	216,5	244,4	102,4	142,4	169,5	191,0	215,6
1000	127,0	174,7	208,3	234,7	265,0	110,9	154,4	183,9	207,2	233,9
Dev. st. σ	18,1	24,8	29,9	33,6	38,0	15,8	22,1	26,6	29,9	33,9

Tableau 44.30 - Page précédente : valeurs maximales des précipitations annuelles observées pour les durées de 1, 3, 6, 12, 24 heures et pour les stations de Livourne ; mêmes valeurs mises à l'échelle pour Rosignano ; valeurs des températures annuelles moyennes, maximales et minimales observées à Livourne. Dans la dernière ligne, le résultat du test de Mann-Kendall (tendance non significative/significative). Ci-dessus : Statistiques sur l'échantillon et traitement de l'échantillon selon la méthode de Gumbel.



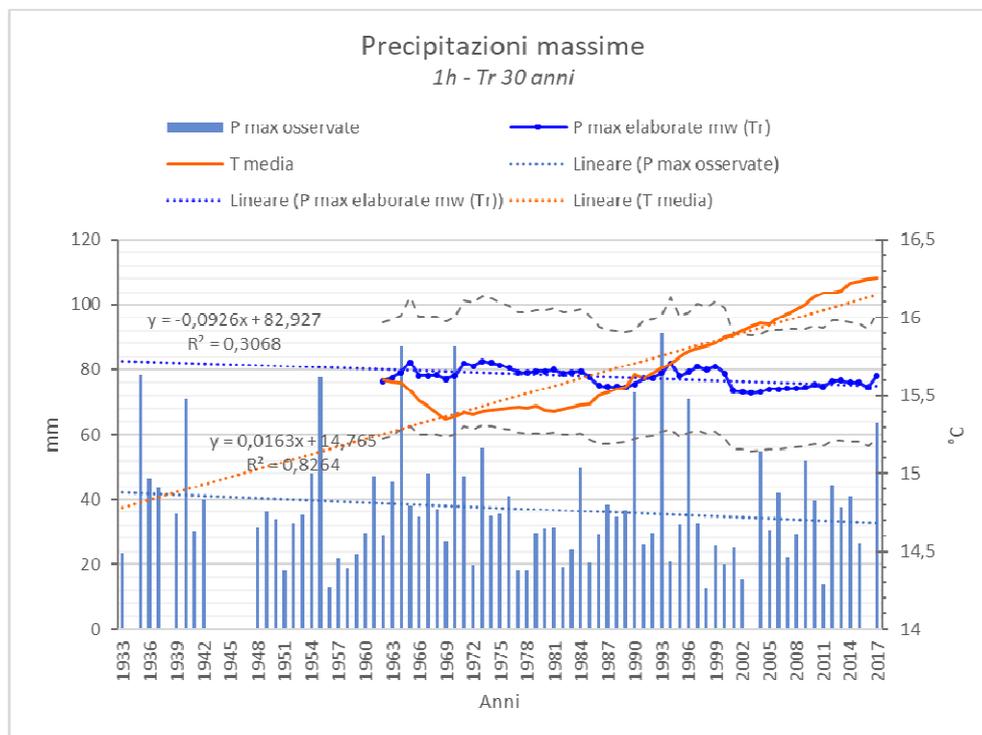
Graphique 14 - Gumbel en moyenne mobile pour Lucques (données des précipitations maximales de 1933 à 2015) d'où il ressort que pour les précipitations de plus longue durée, l'intensité augmente, mais n'a pas atteint ou dépassé les valeurs qu'elle avait avant la forte diminution constatée depuis les trente années précédant 1968.

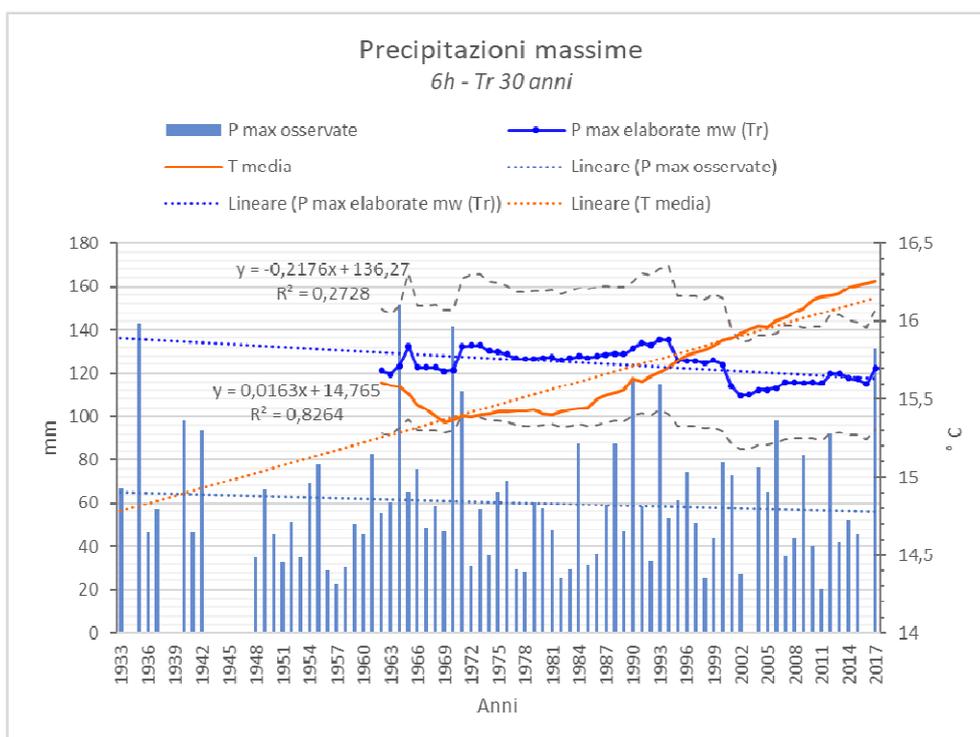
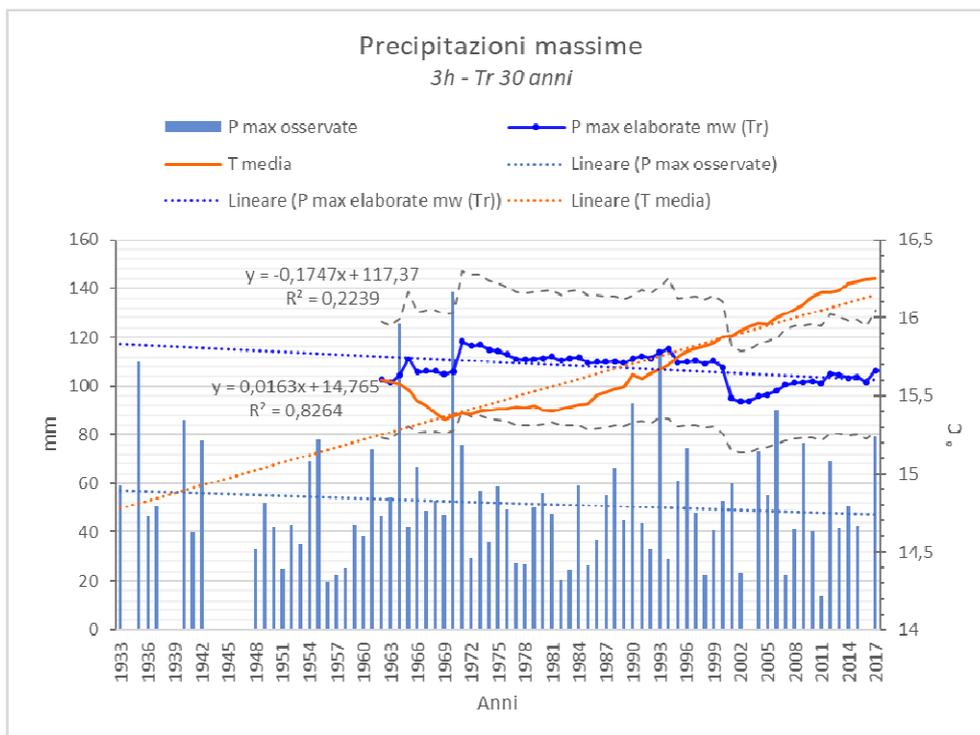
Tr [anni]	Massimi di precipitazione [mm]					P cum [mm]	P max/g [mm]	NP [giorni]	CDD [giorni]	T media [°C]	T max [°C]	T min [°C]
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h							
30												
Anno finale trentennio	Gumbel x (Tr) = N + 1/α * Y su media mobile										Media mobile	
1945						1179,9	127,2	299,7	68,4	15,8		
1946						1170,1	126,9	300,1	68,5	15,8		
1947						1165,2	129,1	300,9	69,4	15,8		
1948						1168,9	129,8	301,2	68,2	15,9		
1949						1187,1	131,6	305,2	64,3	15,9		
1950						1183,9	130,5	306,3	65,6	15,9		
1951						1187,9	130,3	304,8	66,2	15,9		
1952						1164,7	129,3	302,2	66,1	15,9		
1953						1165,8	127,0	302,3	66,2	15,9		
1954						1164,6	125,6	302,9	66,2	15,8		
1955						1167,4	124,3	303,3	66,1	15,8		
1956						1148,5	123,1	303,6	67,6	15,7		
1957						1160,8	124,9	304,0	67,0	15,7		
1958						1163,0	125,4	305,1	67,1	15,7		
1959						1187,4	125,8	305,5	66,5	15,7		
1960						1189,0	124,6	304,8	66,6	15,6		
1961						1213,9	124,9	306,9	67,1	15,6		
1962	76,5	102,8	121,2	148,2	157,2	1208,4	125,9	307,9	68,2	15,6	18,9	11,8
1963	77,5	101,4	119,4	145,8	155,3	1222,2	125,0	308,6	69,0	15,6	18,9	11,8
1964	79,1	104,5	123,3	149,5	159,9	1225,6	130,7	308,8	68,4	15,6	18,9	11,8
1965	82,3	111,1	132,3	153,1	167,4	1217,0	146,0	308,5	68,2	15,5	18,9	11,8
1966	78,1	105,8	122,7	144,4	158,4	1205,1	134,7	308,7	68,9	15,5	18,9	11,8
1967	78,2	106,2	122,5	143,3	155,8	1185,0	133,7	310,4	70,4	15,4	18,9	11,8
1968	78,3	106,3	122,7	143,4	156,4	1146,4	133,8	309,9	69,8	15,4	18,9	11,8
1969	77,1	104,9	120,8	141,0	153,5	1141,0	131,5	309,3	69,9	15,3	18,9	11,8
1970	78,1	105,9	121,5	141,6	155,9	1133,5	135,6	310,6	70,5	15,4	18,9	11,9
1971	81,9	118,1	132,1	150,7	173,3	1126,0	159,2	312,4	70,9	15,4	18,9	11,9
1972	81,1	116,6	132,8	148,7	173,0	1118,6	162,6	310,9	70,4	15,4	18,9	11,9
1973	82,6	116,8	132,6	141,2	167,6	1110,4	162,6	311,4	70,2	15,4	18,9	11,9
1974	82,2	114,9	130,2	138,7	164,8	1101,5	160,2	313,3	69,5	15,4	18,9	11,9
1975	81,3	114,3	129,8	138,4	163,9	1106,1	159,2	312,9	69,9	15,4	18,9	11,9
1976	80,6	113,1	128,9	137,5	162,5	1107,2	157,8	312,1	71,1	15,4	18,9	11,9
1977	79,1	111,2	126,8	135,3	159,6	1109,1	155,5	311,8	70,4	15,4	18,9	12,0
1978	78,9	110,8	126,5	135,0	159,5	1105,5	154,4	310,7	69,9	15,4	18,9	12,0
1979	79,4	111,1	126,8	134,5	159,2	1103,2	154,0	309,1	69,1	15,4	18,9	12,0
1980	79,4	111,6	127,1	133,3	159,1	1102,9	154,0	308,5	67,6	15,4	18,9	12,0
1981	79,9	112,3	127,4	133,4	159,5	1096,8	154,1	309,3	67,1	15,4	18,8	12,0
1982	78,8	110,5	125,8	132,4	157,9	1094,3	153,5	310,6	66,0	15,4	18,9	12,0
1983	79,1	111,5	127,0	133,0	158,1	1094,0	153,2	311,0	64,1	15,4	18,9	12,0
1984	79,4	111,7	127,9	134,1	159,8	1118,0	155,1	311,3	64,7	15,4	18,9	12,0
1985	77,6	109,7	127,3	133,8	159,0	1147,7	154,6	312,1	65,1	15,4	18,9	12,0
1986	75,1	110,0	127,9	135,2	160,9	1155,1	156,4	312,3	64,4	15,5	18,9	12,1
1987	74,7	110,1	128,7	135,7	160,1	1149,8	156,2	312,9	65,6	15,5	18,9	12,1
1988	74,8	110,3	129,0	136,5	162,3	1149,0	157,5	313,4	66,7	15,5	18,9	12,1
1989	74,5	109,7	128,7	138,1	162,7	1136,1	159,1	314,3	67,3	15,6	18,9	12,2
1990	75,5	111,4	131,3	140,9	164,9	1138,0	161,6	316,4	67,3	15,6	19,0	12,3
1991	77,3	112,3	133,8	143,1	165,7	1135,8	162,7	314,9	67,2	15,6	19,0	12,3
1992	77,5	111,4	132,7	142,7	166,4	1135,2	163,0	314,9	66,3	15,6	19,0	12,3
1993	79,0	113,9	135,4	144,9	168,6	1130,2	165,7	315,6	65,7	15,7	19,0	12,3
1994	82,0	115,4	135,2	145,2	168,6	1112,9	165,5	316,0	66,7	15,7	19,0	12,4
1995	77,9	109,8	125,7	137,0	158,4	1099,6	155,2	316,8	65,4	15,7	19,1	12,4
1996	79,2	110,0	125,6	136,9	158,3	1097,8	155,1	317,0	63,5	15,8	19,1	12,5
1997	80,8	110,4	125,6	137,0	158,3	1085,5	155,2	315,8	62,6	15,8	19,2	12,4
1998	79,9	109,3	124,5	135,8	157,0	1074,0	153,9	316,1	62,4	15,8	19,2	12,5
1999	81,0	110,4	125,8	137,7	159,0	1080,9	156,2	316,2	61,9	15,8	19,2	12,5
2000	78,8	107,7	123,8	135,5	156,0	1075,6	153,3	313,8	62,2	15,9	19,2	12,5
2001	73,5	95,0	113,9	124,7	139,9	1072,4	136,9	314,0	62,5	15,9	19,2	12,5
2002	73,2	93,7	109,7	120,9	132,8	1076,7	131,4	314,0	62,5	15,9	19,2	12,5
2003	72,7	93,9	109,9	121,4	132,0	1083,6	130,1	313,8	62,9	15,9	19,2	12,5
2004	73,1	95,9	112,3	123,8	133,6	1094,0	130,7	312,6	63,9	16,0	19,3	12,5
2005	73,9	96,6	112,3	123,7	133,5	1098,5	130,9	313,1	63,3	16,0	19,3	12,5
2006	73,9	97,9	113,2	125,2	135,6	1092,2	133,0	313,8	61,9	16,0	19,3	12,6
2007	74,1	100,6	115,7	128,5	141,2	1076,4	137,8	313,6	63,5	16,0	19,3	12,6
2008	74,2	101,5	115,8	128,0	140,0	1077,9	137,6	314,5	68,6	16,1	19,3	12,6
2009	74,5	101,6	115,5	128,0	139,3	1101,7	138,1	316,1	69,6	16,1	19,4	12,6
2010	75,4	102,2	115,7	128,6	139,0	1134,4	138,6	315,1	69,7	16,1	19,4	12,7
2011	74,8	101,2	115,3	127,6	138,2	1216,6	137,9	322,5	69,0	16,2	19,5	12,7
2012	76,6	105,0	119,6	132,1	142,4	1238,3	140,5	323,0	70,0	16,2	19,5	12,7
2013	76,7	104,7	120,0	133,0	143,4	1246,4	141,2	322,0	70,0	16,2	19,5	12,7
2014	76,1	103,4	117,8	130,9	141,3	1254,6	139,1	322,9	70,4	16,2	19,6	12,8
2015	76,0	103,8	117,3	130,3	141,5	1295,4	138,7	323,2	70,2	16,2	19,7	12,8
2016	74,6	101,6	115,2	127,6	138,4	1297,5	138,3	323,2	70,4	16,2		
2017	78,1	106,4	122,0	136,3	149,3	1298,6	141,2	323,4	70,0	16,3		

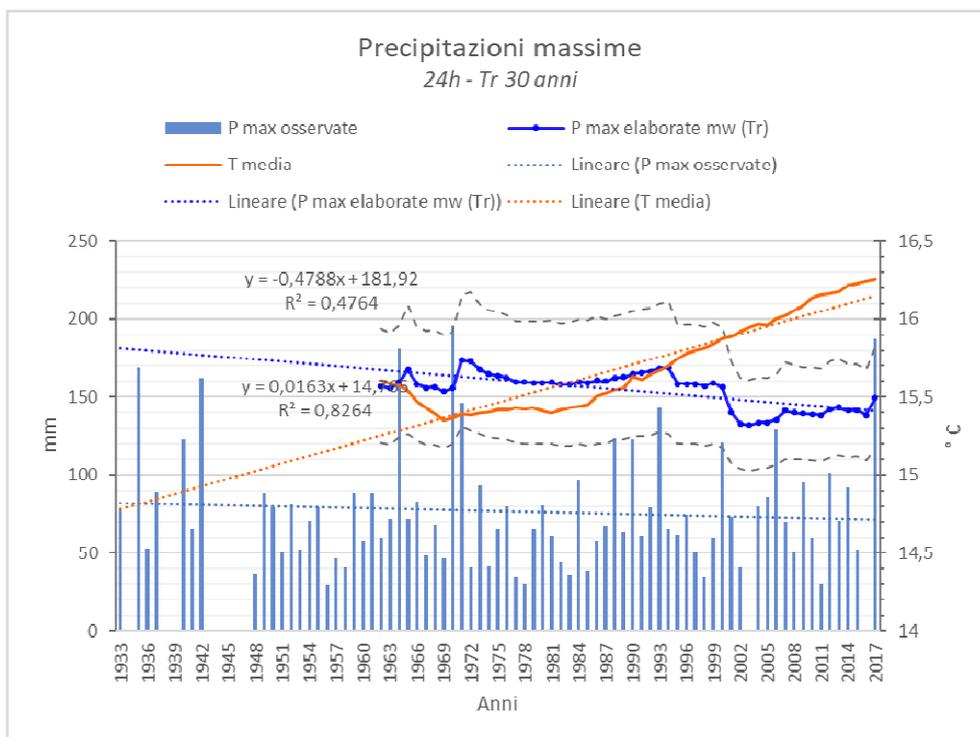
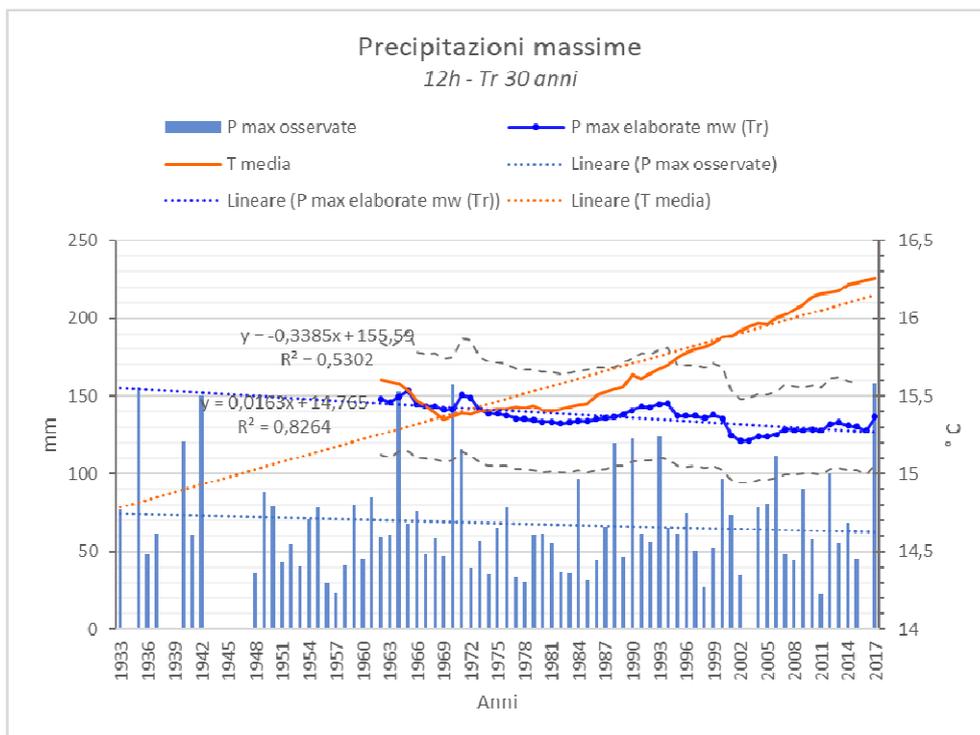
MMT	S	S	S	S	S	S	S	S	S	MS	S	S	S
Media	77,6	107,1	123,8	136,1	154,7	1148,0	142,5	211,5	67,1	15,7	19,1	12,3	
Media 1961-1990 (1)	79,7	110,2	126,9	139,9	151,0	1142,2	148,8	210,9	68,3	15,5	18,9	11,9	
Media 1971-2000 (2)	79,0	111,9	128,8	138,1	152,1	1113,2	157,6	213,1	66,7	15,5	19,0	12,1	
Media 1981-2010 (3)	75,7	106,6	123,4	133,4	152,9	1107,1	149,7	214,0	65,0	15,7	19,1	12,3	
Trend													
2011	74,7	101,8	118,9	125,3	139,3	1133,0	139,3	221,9	66,3	16,0	19,3	12,5	
2020	72,0	96,0	110,0	115,5	125,4	1125,0	159,4	229,0	65,7	16,1	19,9	13,4	
2021	72,8	98,1	117,6	118,7	129,7	1178,9	157,7	226,7	65,9	16,1	19,7	13,3	
2070	71,1	93,3	106,2	108,9	115,8	1119,1	164,3	234,1	65,3	16,2	20,1	13,9	
2061	71,0	94,8	108,2	111,9	120,1	1122,0	162,1	231,8	65,5	16,2	20,0	13,7	
2090	68,3	89,8	101,9	102,1	126,3	1123,6	169,2	239,1	64,9	16,4	20,4	14,3	
2100	67,4	88,0	99,7	98,7	131,3	1109,3	171,7	241,7	64,7	16,4	20,5	14,5	
Variazione (1)	14,7	21,3	22,6	28,0	37,4	9,4	9,0	9,1	31	0,5	0,1	0,1	
Variazione (2)	12,2	17,4	19,2	24,0	33,7	0,3	14,6	9,8	0,6	4,3	7,2	17,1	

Tableau 44.31 - Valeurs maximales sur une moyenne mobile de trente ans pour un temps de retour de 30 ans pour les quantités de : précipitations maximales de 1, 3, 6, 12, 24 heures ; précipitations annuelles cumulées (Pcum) ; précipitations annuelles quotidiennes maximales (Pmax/g) ; nombre de jours non pluvieux par an (NP) ; nombre de jours secs consécutifs par an (CDD). Valeurs de la moyenne mobile, du maximum et du minimum de la température annuelle sur trente ans.

Analyse historique, tendance (contrôle de signification avec le test de Mann-Kendall) et régression linéaire future. Stations de Livourne.







Graphiques 15 - Valeurs maximales obtenues avec Gumbel sur une moyenne mobile (fenêtre mobile) de trente ans pour diverses durées de pluie (l'année représente les trente dernières années de fenêtre mobile) avec un écart quadratique moyen relatif. Valeurs moyennes mobiles de la température sur trente ans. Histogramme des précipitations annuelles quotidiennes maximales observées. Stations de Livourne.

Tr [anni]	Massimi di precipitazione scalati su Rosignano [mm]					P max/g	T media	T max	T min	
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	[mm]	[°C]	[°C]	[°C]	
30	Misure scalate da Livorno con fattore di scala					-12,7	%			
Anno finale trentennio	$x (Tr) = N + 1 / \alpha * Y$							Media mobile		
1945						111,1	15,8			
1946						110,8	15,8			
1947						112,7	15,8			
1948						113,4	15,9			
1949						115,0	15,9			
1950						113,9	15,9			
1951						113,8	15,9			
1952						112,9	15,9			
1953						111,0	15,9			
1954						109,7	15,8			
1955						108,5	15,8			
1956						107,6	15,7			
1957						109,1	15,7			
1958						109,6	15,7			
1959						109,9	15,7			
1960						108,8	15,6			
1961						109,1	15,6			
1962	66,9	89,8	105,8	129,5	137,3	109,9	15,6	18,9	11,8	
1963	67,7	88,5	104,3	127,3	135,7	109,2	15,6	18,9	11,8	
1964	69,1	91,3	107,7	130,5	139,7	114,2	15,6	18,9	11,8	
1965	71,9	97,0	115,5	133,7	146,2	127,5	15,5	18,9	11,8	
1966	68,2	92,4	107,1	126,1	138,3	117,6	15,5	18,9	11,8	
1967	68,3	92,7	107,0	125,1	136,1	116,8	15,4	18,9	11,8	
1968	68,4	92,8	107,2	125,2	136,6	116,8	15,4	18,9	11,8	
1969	67,4	91,6	105,5	123,2	134,1	114,8	15,3	18,9	11,8	
1970	68,2	92,5	106,1	123,7	136,1	118,4	15,4	18,9	11,9	
1971	71,6	103,2	115,4	131,6	151,4	139,1	15,4	18,9	11,9	
1972	70,8	101,8	116,0	129,9	151,1	142,0	15,4	18,9	11,9	
1973	72,2	102,0	115,8	123,3	146,4	142,0	15,4	18,9	11,9	
1974	71,8	100,4	113,8	121,1	143,9	139,9	15,4	18,9	11,9	
1975	71,0	99,9	113,4	120,9	143,2	139,0	15,4	18,9	11,9	
1976	70,4	98,8	112,6	120,1	142,0	137,9	15,4	18,9	11,9	
1977	69,1	97,1	110,8	118,2	139,4	135,9	15,4	18,9	12,0	
1978	68,9	96,8	110,5	117,9	139,3	134,8	15,4	18,9	12,0	
1979	69,3	97,1	110,7	117,5	139,1	134,5	15,4	18,9	12,0	
1980	69,4	97,5	111,0	116,4	139,0	134,5	15,4	18,9	12,0	
1981	69,8	98,1	111,3	116,5	139,3	134,6	15,4	18,8	12,0	
1982	68,8	96,5	109,9	115,7	137,9	134,1	15,4	18,9	12,0	
1983	69,0	97,4	110,9	116,2	138,1	133,8	15,4	18,9	12,0	
1984	69,4	97,6	111,7	117,1	139,6	135,5	15,4	18,9	12,0	
1985	67,7	95,8	111,1	116,9	138,9	135,1	15,4	18,9	12,0	
1986	65,6	96,1	111,7	118,1	140,5	136,6	15,5	18,9	12,1	
1987	65,2	96,1	112,4	118,5	139,9	136,4	15,5	18,9	12,1	
1988	65,3	96,4	112,7	119,2	141,8	137,5	15,5	18,9	12,1	
1989	65,1	95,8	112,4	120,7	142,1	139,0	15,6	18,9	12,2	
1990	66,0	97,3	114,6	123,1	144,0	141,2	15,6	19,0	12,3	
1991	67,5	98,1	116,9	125,0	144,7	142,1	15,6	19,0	12,3	
1992	67,7	97,3	115,9	124,6	145,4	142,4	15,6	19,0	12,3	
1993	69,0	99,5	118,3	126,5	147,3	144,7	15,7	19,0	12,3	
1994	71,7	100,8	118,1	126,8	147,3	144,5	15,7	19,0	12,4	
1995	68,1	95,9	109,8	119,6	138,3	135,5	15,7	19,1	12,4	
1996	69,2	96,1	109,7	119,6	138,2	135,5	15,8	19,1	12,5	
1997	70,6	96,4	109,7	119,7	138,2	135,5	15,8	19,2	12,4	
1998	69,8	95,5	108,7	118,7	137,2	134,4	15,8	19,2	12,5	
1999	70,8	96,4	109,9	120,3	138,8	136,5	15,8	19,2	12,5	
2000	68,9	94,1	108,2	118,3	136,2	133,9	15,9	19,2	12,5	
2001	64,2	83,0	99,5	108,9	122,2	119,5	15,9	19,2	12,5	
2002	63,9	81,9	95,8	105,6	116,0	114,8	15,9	19,2	12,5	
2003	63,5	82,0	96,0	106,0	115,3	113,7	15,9	19,2	12,5	
2004	63,8	83,7	98,1	108,2	116,7	114,2	16,0	19,3	12,5	
2005	64,5	84,4	98,1	108,0	116,6	114,3	16,0	19,3	12,5	
2006	64,6	85,5	98,9	109,4	118,4	116,2	16,0	19,3	12,6	
2007	64,7	87,8	101,1	112,3	123,3	120,3	16,0	19,3	12,6	
2008	64,8	88,6	101,2	111,8	122,3	120,2	16,1	19,3	12,6	
2009	65,1	88,8	100,9	111,8	121,7	120,6	16,1	19,4	12,6	
2010	65,8	89,3	101,1	112,3	121,4	121,1	16,1	19,4	12,7	
2011	65,3	88,4	100,7	111,4	120,7	120,4	16,2	19,5	12,7	
2012	66,9	91,7	104,4	115,4	124,4	122,7	16,2	19,5	12,7	
2013	67,0	91,4	104,8	116,2	125,2	123,3	16,2	19,5	12,7	
2014	66,5	90,3	102,9	114,4	123,4	121,5	16,2	19,6	12,8	
2015	66,3	90,7	102,4	113,8	123,6	121,2	16,2	19,7	12,8	
2016						120,8	16,2			
2017						123,3	16,3			

Media	67,8	93,8	108,3	119,0	135,2	124,5	15,7	19,1	12,2
Media 1961-1990 (1)	68,7	96,2	110,9	122,2	140,6	129,9	15,5	18,9	11,9
Media 1971-2000 (2)	69,0	97,7	112,5	120,6	141,6	137,6	15,8	19,0	12,1
Media 1981-2010 (3)	67,0	93,1	107,8	116,5	133,6	130,8	15,7	19,1	12,3
Trend									
2021	65,0	88,7	102,0	108,8	121,3	133,1	16,0	19,5	12,9
2050	62,6	84,1	96,4	99,7	108,9	139,3	16,3	19,9	13,4
2041	63,3	85,5	98,1	102,5	112,7	137,3	16,1	19,7	13,3
2070	60,8	81,0	92,5	93,4	100,3	143,5	16,2	20,1	13,9
2061	61,6	82,4	94,3	96,2	104,2	141,6	16,2	20,0	13,7
2090	59,1	77,8	88,7	87,1	91,8	147,8	16,4	20,4	14,3
2100	58,3	76,2	86,8	84,0	87,5	149,9	16,4	20,5	14,5
Evolution du (1)	-15,5	-22,0	-22,9	-30,4	-38,2	9,0	5,8	8,1	19,1
Evolution du (2)	-13,0	-18,1	-19,6	-27,9	-34,5	14,6	4,3	7,3	17,3

Tableau 44.32 - Les extrêmes sont montés de Livourne à Rosignano. Valeurs maximales sur une moyenne mobile de trente ans pour un temps de retour de 30 ans pour les quantités de : précipitations maximales de 1, 3, 6, 12, 24 heures ; précipitations maximales quotidiennes annuelles (Pmax/g). Valeurs de la moyenne mobile, du maximum et du minimum de la température annuelle sur trente ans. Analyse historique, tendance et régression linéaire future.

Partie II. Analyse territoriale pour la caractérisation de la vulnérabilité

Dans le dernier rapport du IPCC (2014), les trois composantes clés de l'évaluation et de la gestion des risques liés au changement climatique sont le danger, l'exposition et la vulnérabilité. La composante de la vulnérabilité comprend la sensibilité, c'est-à-dire la "susceptibilité" aux dommages, et l'adaptabilité comme éléments déterminants. Voici les définitions figurant dans le dernier rapport du IPCC (2014) :

Vulnérabilité: propension ou prédisposition d'un système à être altéré négativement. Elle comprend une variété de concepts et d'éléments tels que la sensibilité au danger et l'incapacité à faire face et à s'adapter.

Impacts. Les effets sur les systèmes naturels et humains. Dans le rapport du WGII AR5 du IPCC, le terme « impacts » est principalement utilisé pour désigner les effets des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et des changements climatiques sur les systèmes naturels et humains. Les impacts concernent généralement les 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 l'infrastructure en raison de l'interaction des changements climatiques ou des phénomènes climatiques dangereux survenant au cours d'une période donnée, et la vulnérabilité d'une société ou d'un système aux changements climatiques. Il fait également référence aux impacts en tant que conséquences et résultats. Les impacts du changement climatique sur les systèmes géophysiques, notamment les inondations, les sécheresses et l'élévation du niveau de la mer, représentent un sous-ensemble d'impacts appelés impacts physiques.

Résilience. La capacité d'un système socio-écologique à faire face à un événement dangereux, ou à des anomalies, en réagissant ou en se réorganisant de manière à préserver ses fonctions essentielles, son identité et sa structure, tout en maintenant sa capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.

Adaptation. Le processus d'adaptation au climat actuel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à limiter les dommages ou à exploiter les opportunités favorables. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat prévu et à ses effets.

1. La vulnérabilité des établissements urbains

Les impacts que le changement climatique peut générer sur les établissements urbains présentent une grande variabilité, étant fonction d'un ensemble complexe d'éléments propres à chaque établissement, par exemple l'altitude, la distance par rapport au littoral, le régime des vents, la nature des activités économiques, la verdure et les services urbains, les conditions de mobilité, etc.

Pour les agglomérations de la commune de Rosignano Marittimo, en laissant de côté les impacts dérivant du risque hydrique, traités dans un rapport spécifique édité par l'Université de Pise, à partir d'une revue de la vaste littérature sur le sujet, l'ensemble de ces impacts peut être résumé comme suit :

- les impacts sur la santé et le bien-être de l'habitat, résultant à la fois de l'augmentation des pics de température et de l'effet d'amplification que l'on retrouve dans le centre des villes (le soi-disant îlot de chaleur).
- les impacts sur les conditions sociales dus à une moindre fréquentation (due à des températures excessives) des espaces publics et des lieux de rencontre (places, rues, centres de loisirs, etc.) qui présentent également des éléments d'habitabilité (espaces verts) ;
- les impacts sur la compétitivité et les opportunités économiques, en particulier dans les établissements où le système de production est basé sur le tourisme ;
- les impacts particulièrement graves sur la qualité de vie de certains groupes de la population, c'est-à-dire les personnes à faible revenu, les malades, les personnes âgées seules, les immigrants récents, les personnes ayant des conditions de logement précaires ;

1.1. Indices de bien-être thermoclimatique

L'une des conséquences les plus critiques du changement climatique est l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur au fil du temps. Dans les régions urbaines, ces futures vagues de chaleur seront exacerbées par ce que l'on appelle « l'effet d'îlot de chaleur », avec de graves conséquences pour la santé et le bien-être des habitants des villes. On sait en effet que, historiquement, le climat et les conditions climatiques peuvent avoir des effets importants sur la santé et les activités humaines.

Il existe de nombreuses façons de définir puis de mesurer une « vague de chaleur » (voir Perkins, 2005³ pour un examen complet des définitions des épisodes de chaleur). La température est l'indice le plus utilisé dans les définitions des événements de chaleur en raison de la dispersion des stations qui détectent ce paramètre. Une autre distinction importante concerne les définitions basées sur les températures absolues par rapport aux centiles. Les températures absolues (et les anomalies moyennes) sont d'une importance fondamentale pour de nombreux impacts sociaux et environnementaux, tels que les tolérances thermiques biophysiques des mammifères en général et des humains en particulier. Souvent, la mesure absolue de la température est associée à des indices de climatologie locale basés sur les centiles qui facilitent les comparaisons entre les lieux.

Dans le présent travail d'analyse de la vulnérabilité du territoire de Rosignano Marittimo aux vagues de chaleur, nous avons utilisé les trois indices suivants proposés par l'équipe d'experts sur la détection et les indices de changement climatique

Nombre de jours d'été. Nombre de jours dans une année où la température TX (température maximale quotidienne) > 25°C.

Nombre de nuits tropicales. Nombre de jours dans une année avec TN (température quotidienne minimale) > 20°C. Il est important pour le bien-être de l'homme que le corps se refroidisse après une journée chaude. Les nuits tropicales, la température reste supérieure à 20°C. Pendant cette nuit, il est plus difficile pour le corps humain de prendre froid, surtout pour les personnes âgées ou malades. par conséquent, une augmentation des nuits tropicales peut entraîner une augmentation de la mortalité.

Indice de durée des périodes de chaleur (WSDI). Nombre de jours dans une année avec au moins 6 six jours consécutifs avec une température TX > 90^e centile. Stojilković, et al. (2014)⁴ ont montré que les périodes identifiées par l'indice WSDI comme des jours de canicule ont une mortalité plus élevée que prévu.

3

Perkins, S. E. (2015). Une revue sur la compréhension scientifique des vagues de chaleur - Leur mesure, leurs mécanismes d'entraînement et les changements à l'échelle mondiale. *Recherche atmosphérique*, 164, 242-267.

⁴ Stojilković, J., Kokotović, V., Stanojević, G. et Spalević, A. (2014). Dénombrement quotidien de la mortalité et des vagues de chaleur estivales à Belgrade (Serbie). Dans la présentation par affiches, Conférence européenne sur la population (p. 24-26).

Les figures suivantes montrent les graphiques des trois indicateurs calculés à partir des données de grille mises à disposition par le Centre canadien de modélisation et d'analyse⁵ du climat, calculées pour un modèle climatique global participant au projet de comparaison inter-modèles couplés, phase 5 (CMIP5). Le modèle choisi a été leGFDL-ESM2G-

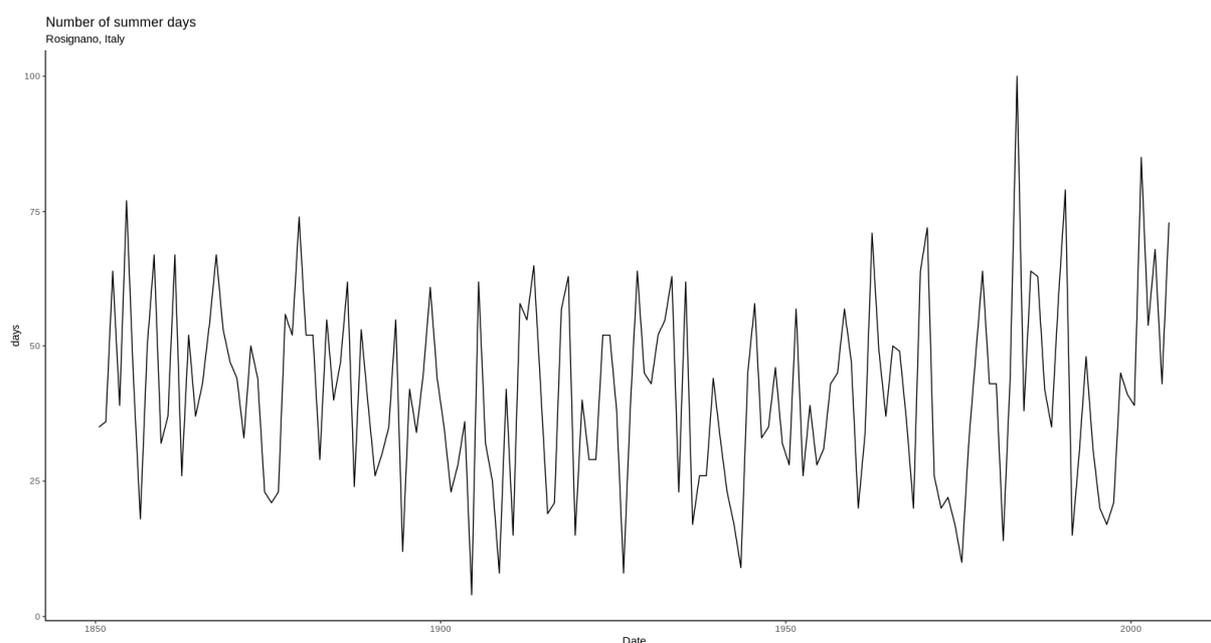


Figure 2.67 - Nombre de jours d'été, situation climatique historique.

⁵ Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, et D. Bronaugh, 2013a : Indices des extrêmes climatiques dans l'ensemble multi-modèle CMIP5. Partie 1 : Évaluation du modèle dans le climat actuel. *J. Geophys. Rés.*, doi:10.1002/jgrd.50203.

Sillmann, J., V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, et D. Bronaugh, 2013b : Indices des extrêmes climatiques dans l'ensemble CMIP5 multi-modèle. Partie 2 : Projections futures. *J. Geophys. Rés.*, doi:10.1002/jgrd.50188.

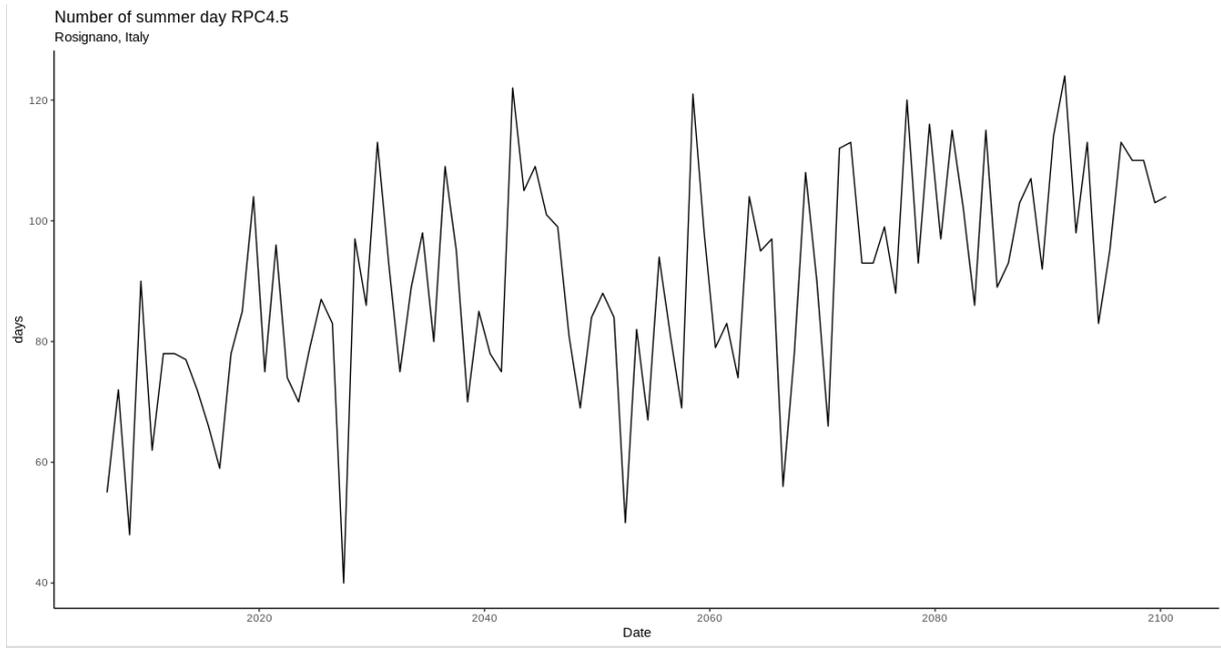


Figure 2.68 - Nombre de jours d'été, situation Scénario RCP4.5.

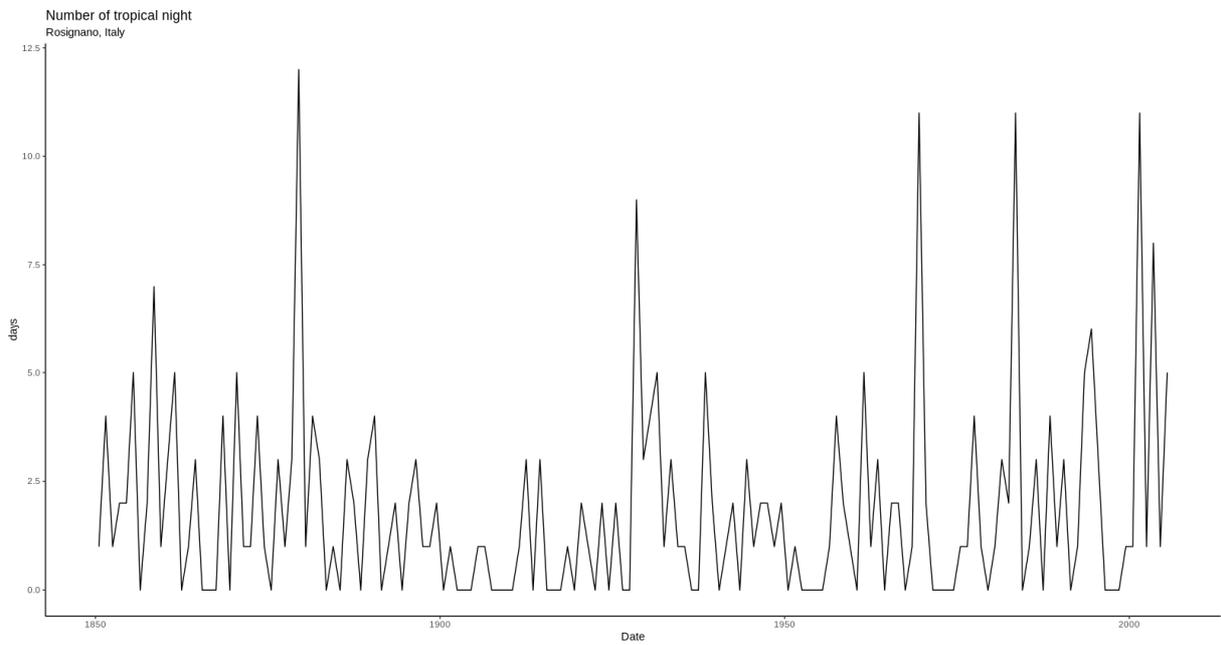


Figure 2.69 - Nuits tropicales, situation climatique actuelle

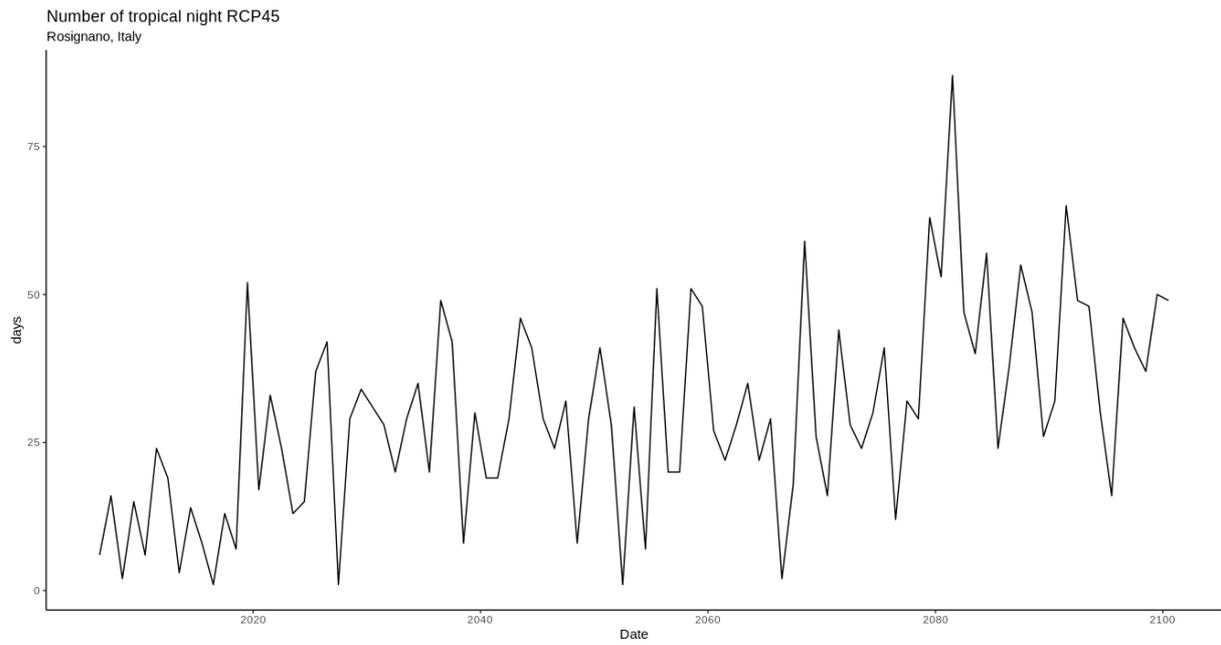


Figure 2.70 - Nuits tropicales, situation du scénario RCP4.5.

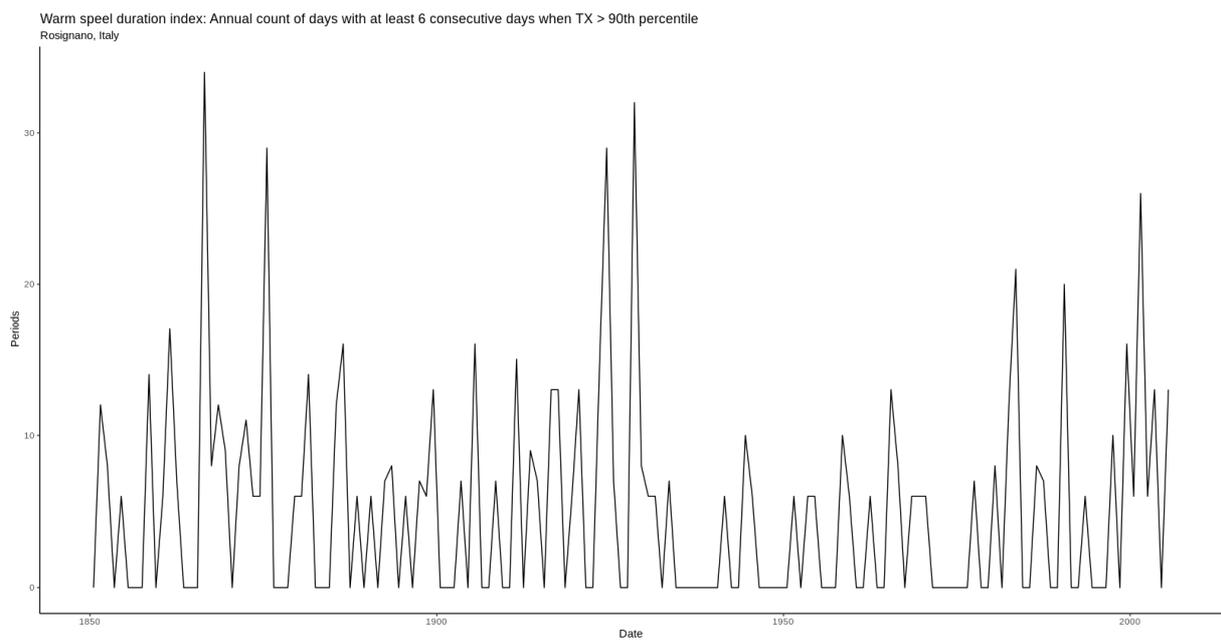


Figure 2.21 - WSDI au climat actuel.

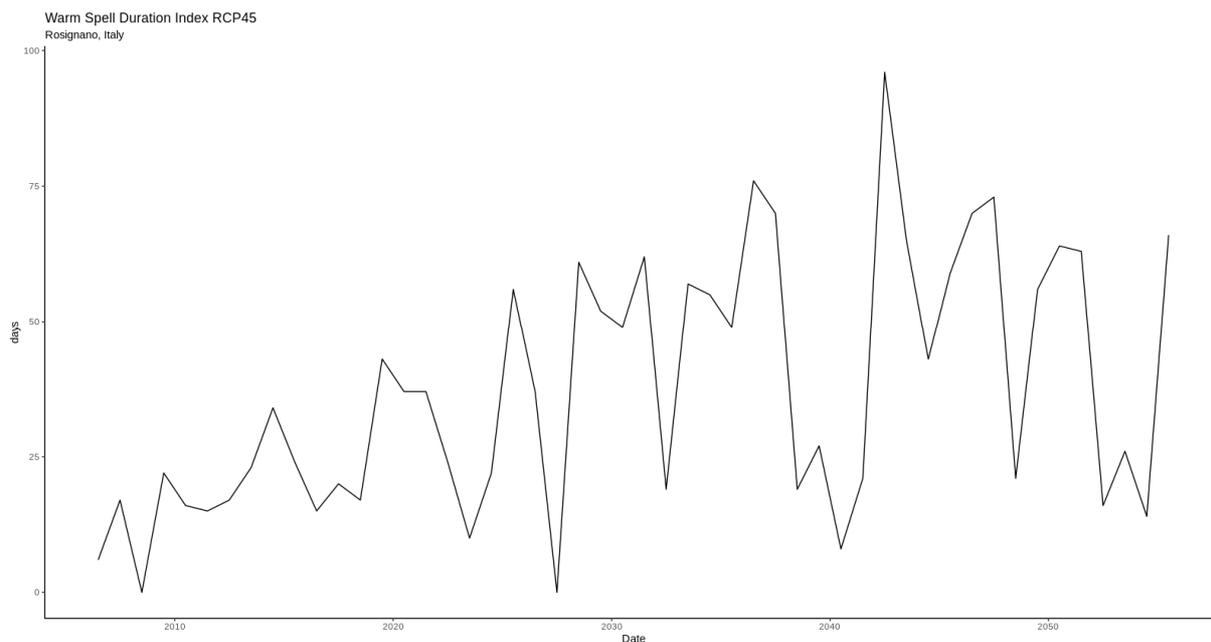


Figure 2.22 - Scénario WSDI RCP4.5

à faire : discussion des résultats

1.2. Vulnérabilité à l'augmentation de la température : un modèle d'évaluation d'échelle détaillé.

Selon la littérature, la morphologie urbaine joue un rôle important dans la formation des phénomènes d'îlots de chaleur urbains. Une conception efficace des villes peut neutraliser, par exemple, les effets intenses des îles thermiques causés par une croissance urbaine illimitée, une densité accrue et les effets du changement climatique. L'utilisation efficace des espaces verts publics et des matériaux de revêtement peut également réduire les températures dans les zones critiques. C'est pourquoi il est important de fournir aux outils d'urbanisme des informations à l'échelle appropriée pour la conception des interventions d'adaptation des espaces publics partagés et pour la conception et le réaménagement des établissements privés.

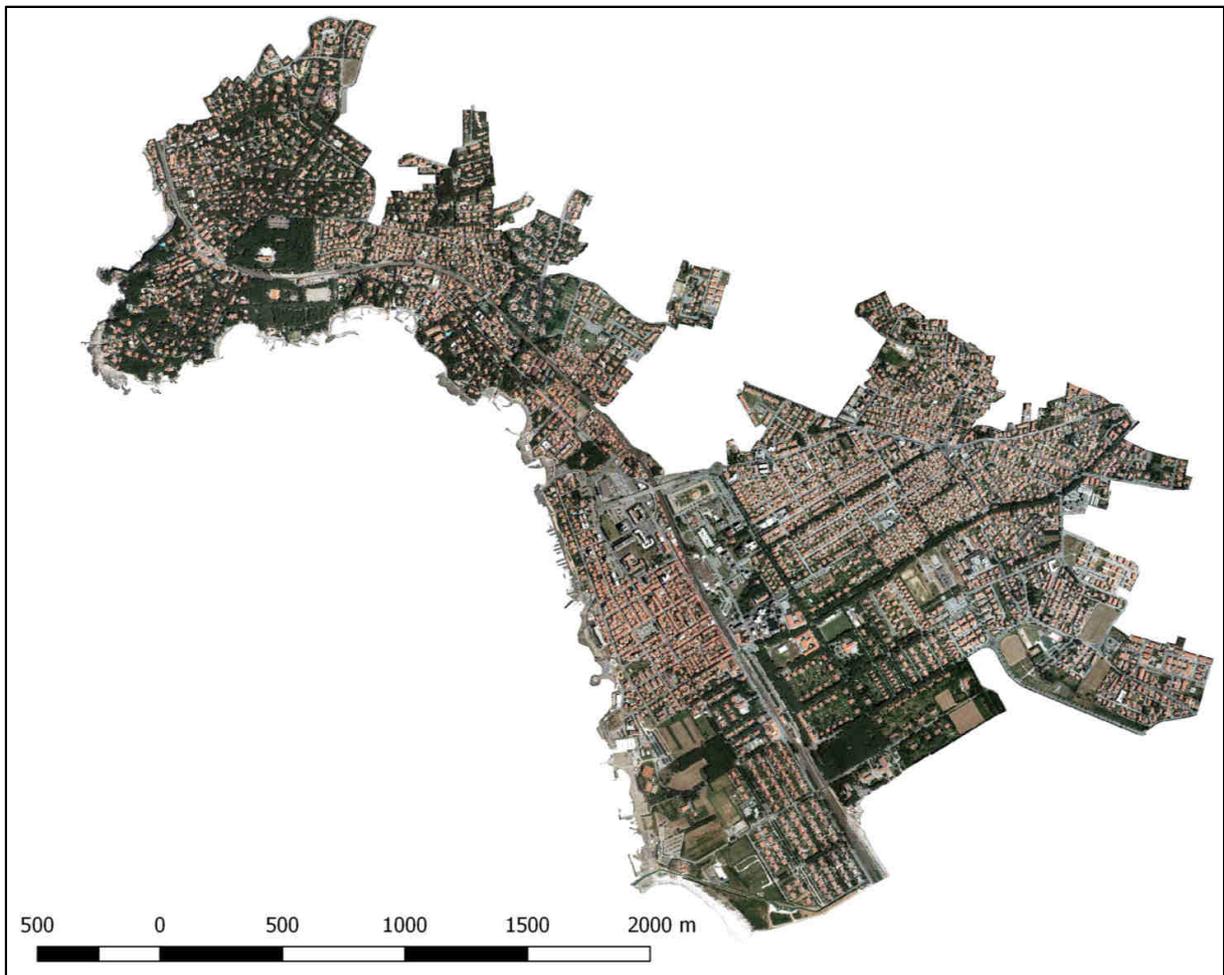
Pour ces raisons, l'objectif de la recherche décrite dans ce paragraphe est de fournir une méthodologie efficace et reproductible pour analyser la température de surface d'une ville à l'échelle urbaine et la corréler avec les éléments de la morphologie urbaine afin de vérifier par des simulations l'effet des hypothèses de conception de l'adaptation au changement climatique.

1.2.1. Matériaux

2.2.1.1. Zone d'étude

La commune de Rosignano Marittimo comprend de nombreuses localités, hameaux et zones habitées, en particulier : Acquabona, Cafaggio, Chioma, Il Giardino, Malavolta, Mazzanta, Polveroni, Rosignano Solvay-Castiglioncello, Sovita. Pour l'étude, il a été décidé d'analyser les plus grandes zones par taille et population : Rosignano Solvay-Castiglioncello, Rosignano Marittimo et Vada.

Le périmètre des trois zones d'étude comprend uniquement le territoire urbanisé, c'est-à-dire le tissu urbain continu, à l'exclusion des zones industrielles et des districts ruraux (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).



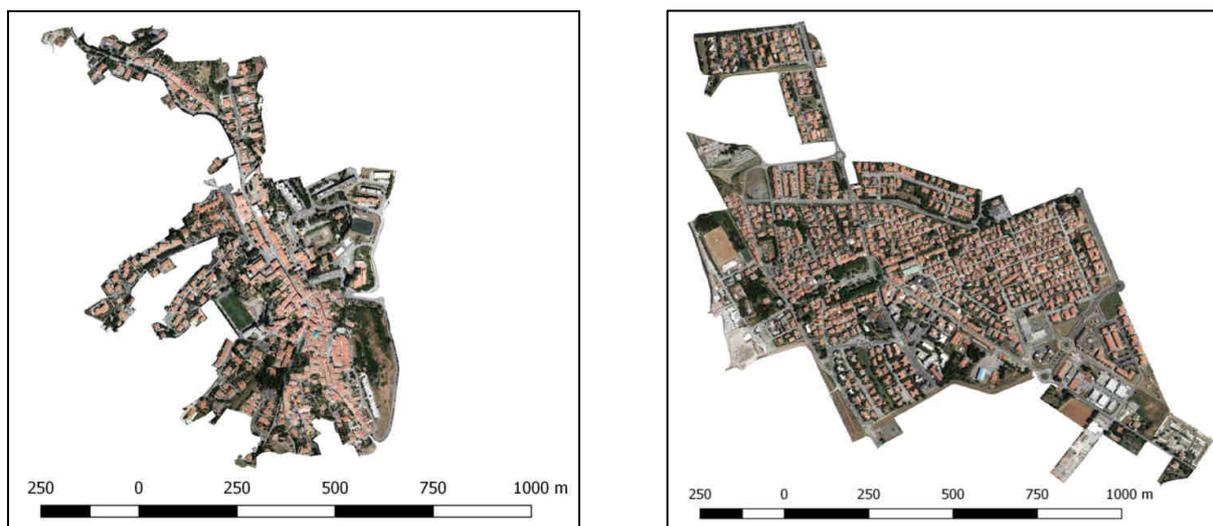


Figure 2.69 - Orthophotos des trois zones d'étude

2.2.1.2. Le système d'information territoriale

La méthode proposée est basée sur les données de télédétection disponibles pour la plus grande partie du territoire régional :

- données LiDAR
- images de télédétection à haute résolution
- des images prises à partir de la plateforme LANDSAT 8.

Données LiDAR

Le terme modèle numérique de terrain désigne la reconstruction de la surface terrestre, à partir d'un nuage de points obtenu par des méthodes d'acquisition photogrammétrique (capable de reconstruire le modèle de surface du terrain), ou avec le LiDAR, un capteur laser capable de reconstruire à la fois le modèle de surface et le modèle de terrain. Il existe divers types de modèles numériques de terrain. Dans cette étude, le modèle numérique de surface (MNS) a été utilisé, car il tient compte de la hauteur et de la forme des bâtiments et de la végétation (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*), qui sont essentielles pour atteindre l'objectif du travail.

Le jeu de données utilisé est celui qui découle du Plan extraordinaire de télédétection environnementale (PST-A), (Accord de programme entre le Ministère de l'environnement et de la protection du territoire de la mer (MATTM), la Présidence du Conseil des ministres - Département de la protection civile (DPC) et le Ministère de la défense (MD) en accord avec les régions et les

provinces autonomes) visant à l'acquisition de données interférométriques sur l'ensemble du territoire national à partir des données COSMO-SKYMed.

En détail, quatre-vingt-quinze fiches MNS ont été utilisées par le réseau de données de la Région de Toscane (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>), en format ASCII, avec une résolution de 1x1 mètre, acquis avec le vol de 2008. Les feuilles ont ensuite été jointes pour obtenir un seul MSN tramé (1 m) de toute la zone municipale.

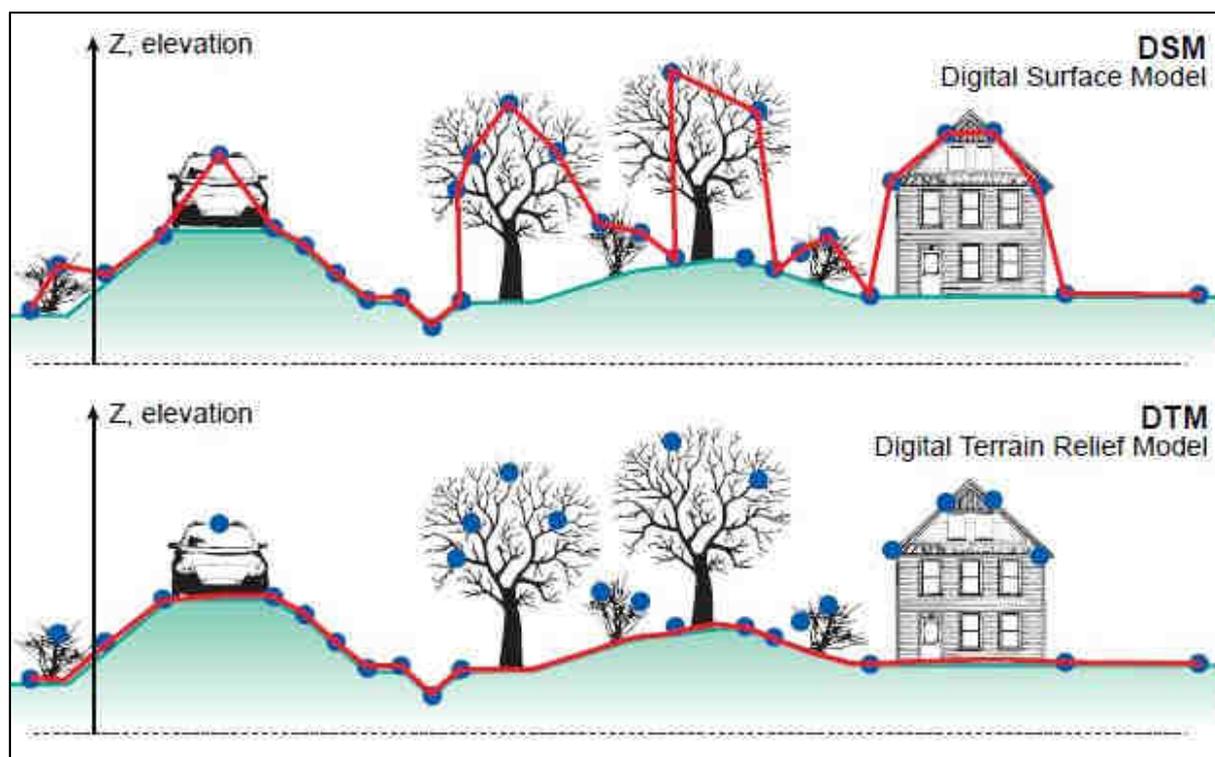


Figure 2.70 - Comparaison entre DEM et DTM

Photos aériennes

Des photos aériennes ont été utilisées à la fois pour définir le périmètre des zones d'étude et pour détecter la couverture végétale. Les images ont été téléchargées de la même base de données de la Région Toscane indiquée ci-dessus, dont l'acquisition est datée du 19 juin 2013, en format Tiff., à une résolution de 0,2x0,2 mètres, avec 4 bandes spectrales (Vert, Rouge, Bleu et Infrarouge).

Données Landsat 8

L'information thermique synthétique peut être acquise à l'aide de techniques de télédétection, grâce à des capteurs fonctionnant dans la bande infrarouge thermique (TIR), installés sur des plates-formes aériennes et satellitaires. Les images thermiques de télédétection sont donc largement utilisées pour l'étude des paysages urbains, car elles fournissent une grille synoptique et synchrone de données de température, permettant l'analyse des problèmes urbains liés au climat local et à l'îlot de chaleur (Rajeshwari & Mani, 2014).

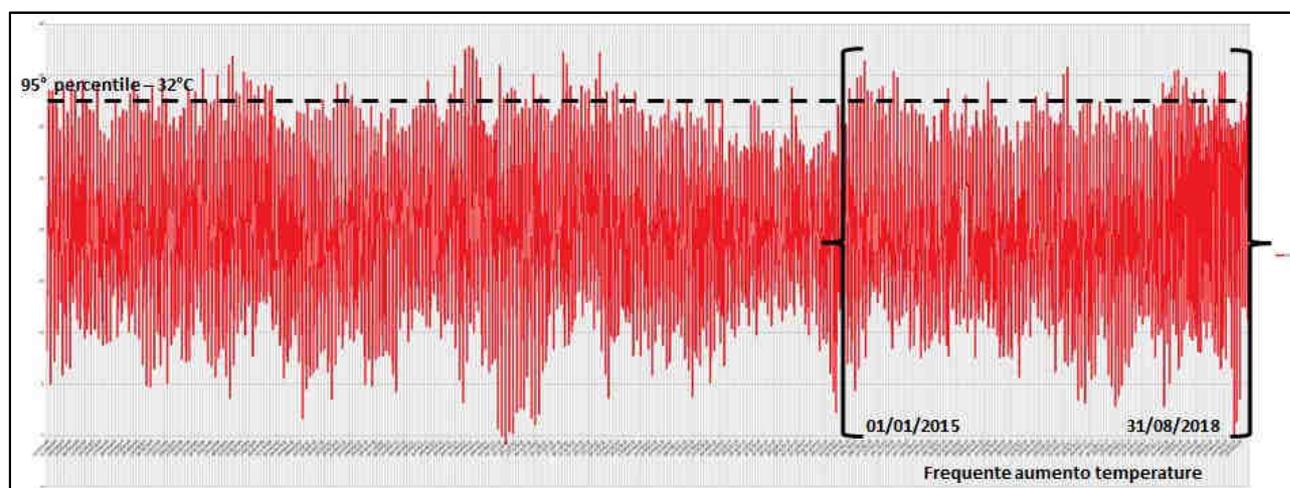
Dans cette étude a été choisi le satellite Landsat 8 Oli/Tirs - Nivel 1, lancé le 11 février 2013, composé de 2 capteurs : Imageur terrestre opérationnel (OLI) avec neuf bandes (bande 1 à 9) et capteur infrarouge thermique (TIR) avec deux bandes (bande 10 et 11). Ce satellite fournit une couverture saisonnière de la masse continentale à une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes 1 à 7 et 9 ; 15 mètres pour la bande 8 (panchromatique) ; 30 mètres pour les bandes thermiques 10 et 11 (*Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

	BANDES	RÉSOLUTION
LANDSAT 8 OLI – TIRS Nivel 1	Bande 1 - Aérosol côtier	30
	Bande 2 - Bleu	30
	Bande 3 - Vert	30
	Bande 4 - Rouge	30
	Bande 5 - Proche infrarouge (NIR)	30
	Bande 6 - SWIR 1	30
	Bande 7 - SWIR 2	30
	Bande 8 - Panchromatique	15
	Bande 9 - Cirrus	30
	Bande 10 - Infrarouge thermique (TIRS) 1	100 * (30)
	Bande 11 - Infrarouge thermique (TIRS) 2	100 * (30)

Tableau 2.48 - Bandes Landsat 8 OLI-TIR

Landsat 8 est la dernière plateforme de la série Landsat de la NASA. Les données Landsat 8 sont disponibles sur le site Web de Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Dans la présente étude, le jeu d'images téléchargées remonte au 8 août 2018, dont la bande 10 a été utilisée pour estimer la température à la surface de la Terre, et les bandes 4 et 5 pour estimer l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN).

La date a été choisie suite à l'analyse de la variabilité temporelle de l'anomalie de la température maximale quotidienne, grâce à l'analyse des données provenant du Secteur hydrologique régional (SIR) du Centre fonctionnel régional de météorologie - surveillance hydrologique (<http://www.sir.toscana.it/ricerca-dati>), qui indiquent les températures extrêmes moyennes à la station de Quercianella de 2004 à 2018.



Graphique 16 - Variabilité temporelle de l'anomalie de température quotidienne maximale

Le graphique (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) montre que, en particulier au cours des 4 dernières années, de 2015 à 2018, les pics de températures maximales se sont considérablement intensifiés, provoquant des anomalies de température.

Données climatiques Worldclim

Les ensembles de données Wordclim (<http://www.worldclim.org/>) ont été utilisés dans des centaines d'études en raison de leur disponibilité gratuite et de leur couverture mondiale. Les chercheurs

Hijmans, Cameron, Parra, Jones et Jarvis⁶ ont élaboré des surfaces climatiques interpolées pour des régions géographiques mondiales (à l'exception de l'Antarctique) avec une résolution spatiale de 30 secondes d'arc (environ 1 km).

Logiciel

Toute l'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel QGIS 2.18.24, un logiciel libre qui permet de fusionner des données provenant de différentes sources et de différents formats en un seul projet d'analyse territoriale. Plusieurs commandes ont été utilisées comme le calculateur matriciel, plusieurs outils de traitement tels que *r.sun* ou *r.resamp.stats*, et enfin un plugin spécifique d' *estimation de la température de surface terrestre*, pour calculer la LST à partir des données satellites. Tous les résultats donnent lieu à des cartes raster, de différentes résolutions. De plus, le logiciel Circular Analysis (CircAn), Biomapper Module, version 1.3.0.21, développé par A. Hirzel, P. Patthey et M. Saudan, qui réduit la taille des cartes matricielles par une procédure de réduction d'échelle, a été utilisé.

1.2.2. Méthode et résultats.

La méthode utilisée a été divisée en deux modules : dans le premier, la recherche a été basée sur l'étude des températures actuelles, dans le second, au contraire, sur les projections climatiques futures. Les deux modules ont suivi la même procédure.

2.2.2.1 Températures actuelles

Étape 1 : Estimation de la température de la surface terrestre

La « température de la surface terrestre » (LST) est la température de la surface de la Terre et est utilisée dans de nombreuses applications, telles que l'analyse microclimatique, géothermique et écologique⁷.

⁶ Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. et Jarvis, A. (2005). Surfaces climatiques interpolées à très haute résolution pour les zones terrestres mondiales. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978.

⁷ Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S. et Kahle, A. B. (1998). Un algorithme de séparation de la température et de l'émissivité pour les images du radiomètre spatial avancé à émission et réflexion thermiques (ASTER). *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1113-1126.

Dans cette méthode, la LST est la donnée de base pour l'identification et l'évaluation de l'effet d'îlot thermique de surface urbain (SUHI)⁸.

Pour obtenir le LST, on a utilisé le plugiciel QGIS Land Surface Temperature Estimation, qui a été développé pour extraire la température de la surface de la Terre à partir des images infrarouges thermiques (TIR) acquises par le satellite Landsat. Le plugin, grâce à une série d'algorithmes, a la capacité de convertir les nombres numériques (DN) en radiance, la radiance en température de luminosité (Brightness Temperature) et de calculer l'émissivité de la surface de la Terre (LSE). Vous trouverez ci-dessous les étapes individuelles et leurs équations sur lesquelles le plugin est basé pour calculer la LST.

i) Conversion du numéro numérique (DN) en radiance

La radiance des données du capteur est enregistrée sous forme de numéro numérique. DN est une façon de représenter différents niveaux d'intensité de rayonnement électromagnétique dans une image tramée. Pour calculer la LST à partir de cette image, les DN doivent être convertis en radiance, en utilisant les facteurs de radiance du fichier MTL du jeu d'images Landsat.

La radiance (L_λ) est obtenue avec l'équation suivante :

$$L_\lambda = M_\lambda Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Où L_λ = radiance de la partie supérieure de l'atmosphère (TOA) en $W / (m^2 \times sr \times \mu m)$

M_λ = facteur d'échelle multiplicatif spécifique à la bande de métadonnées

(RADIANCE_MULT_BAND)

Dousset, B., et Gourmelon, F. (2003). Analyse des données satellitaires multi-capteurs des températures de surface et de la couverture terrestre en milieu urbain. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(1-2), 43-54.

Weng, Q., Lu, D. et Schubring, J. (2004). Estimation de la relation entre la température de la surface terrestre et l'abondance de la végétation pour les études sur les îlots de chaleur urbains. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483.

⁸ Oke, T.R. (1976). La distinction entre la canopée et les îlots de chaleur urbains de la couche limite. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.

Oke, T.R. (1982). La base énergétique de l'îlot de chaleur urbain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.

Voogt, J. A. (2004). Les îlots de chaleur urbains : des villes plus chaudes.

Q_{cal} = valeurs des pixels des produits standard quantifiés et calibrés (DN)

A_L = facteur de redimensionnement additif spécifique à la bande à partir des métadonnées (RADIANCE_ADD_BAND)

(ii) *Conversion de la radiance en température de luminosité*

Après avoir converti les DN en radiance, l'étape suivante consistait à convertir la radiance en température de luminosité (BT), par le biais des constantes thermiques de la MLT. BT est une mesure qui décrit la quantité de rayonnement en termes de température d'un corps noir hypothétique émettant la même quantité de rayonnement à la même longueur d'onde. L'équation pour calculer BT est donc la suivante :

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

où BT = température de luminosité

L_λ = rayonnement spectral TOA ($W / (m^2 \times sr \times \mu m)$)

K_1 = constante de conversion thermique spécifique à la bande à partir des métadonnées (K1_CONSTANT_BAND)

K_2 = constante de conversion thermique spécifique à la bande à partir des métadonnées (K2_CONSTANT_BAND)

(iii) *Estimation de l'émissivité de la surface de la Terre (LSE)*

L'émissivité (ε_λ) est le rapport entre le rayonnement émis (ε_λ) à la longueur d'onde (λ) et l'émission d'un corps noir ($B_\lambda(T)$) à la longueur d'onde et la température (T)⁹. C'est le rapport qui compare la capacité radiante d'une surface avec celle d'un corps noir¹⁰. Puisqu'il n'y a pas de matériau dans le monde réel qui réponde aux propriétés d'un corps noir parfait, il est essentiel d'estimer la LSE pour réduire les erreurs lors de l'estimation de la LST.

Ainsi, pour associer la température de l'énergie thermique infrarouge rayonnée par un objet donné, il est nécessaire de connaître l'émissivité de cet objet. L'émissivité des surfaces terrestres peut varier

⁹ Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... & Sobrino, J. A. (2013). Température de surface terrestre dérivée du satellite : Situation actuelle et perspectives. *Téledétection de l'environnement*, 131, 14-37.

¹⁰ Kruse, P. W., McGlauchlin, L. D., & McQuistan, R. B. (1962). *Éléments de la technologie infrarouge : Génération, transmission et détection*. New York : Wiley, 1962.

considérablement d'un endroit à l'autre et peut varier en fonction de nombreux facteurs, notamment l'angle de vue, l'humidité de surface, la rugosité et la végétation¹¹.

Par conséquent, sachant que l'émissivité des surfaces varie avec la longueur d'onde, l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) a été utilisé dans l'étude pour estimer la LSE de différents matériaux terrestres dans la gamme de longueurs d'onde 10-12 µm.

Pour calculer l'IVDN de la surface, l'équation (3) a été utilisée :

$$NDVI = \frac{B_n - B_r}{B_n + B_r} \quad (3)$$

où IVDN= Indice de végétation par différence normalisée

B_n = bande infrarouge

B_r = bande rouge

Après avoir calculé l'IVDN, en utilisant les bandes thermiques du capteur (bande 4 et 5), il a été possible d'estimer la LSE, grâce à l'algorithme de Zhang, Wang et al, sur la base de l'image IVDN.

La LSE d'un pixel est estimée en classant les pixels selon la classe dans laquelle ils se trouvent. Lorsqu'un pixel a une valeur IVDN inférieure à -0,185, la valeur LSE de 0,995 est attribuée au pixel, lorsque la valeur IVDN est supérieure ou égale à -0,185 et inférieure à 0,157, une valeur LSE de 0,985 est attribuée au pixel, lorsque la valeur IVDN est supérieure ou égale à 0,157 et inférieur ou égal à 0,727, une relation logarithmique entre l'IVDN et le LSE¹² est utilisée, et enfin, lorsque l'IVDN est supérieur à 0,727, le pixel se voit attribuer une valeur de 0,990 comme indiqué dans la *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*

IVDN	LSE
IVDN < -0,185	0 995
-0,185 ≤ IVDN < 0,157	0 985
0,157 ≤ IVDN ≤ 0,727	1.009 + 0,047 × ln(IVDN)
IVDN > 0,727	0 990

Tableau 2.49 - Algorithme basé sur l'image IVDN.

¹¹ Yu, X., Guo, X. et Wu, Z. (2014). Récupération de la température de la surface terrestre à partir de Landsat 8 TIRS-Comparaison entre la méthode basée sur l'équation de transfert radiatif, l'algorithme de la fenêtre divisée et la méthode à canal unique. *Téledétection*, 6(10), 9829-9852.76

¹² Vandegriend, A. A., Owe, M., Vugts, H. F. et Ramothwa, G. K. (1992). Programme de recherche du Botswana sur le bilan de l'eau et de l'énergie de surface. Partie 1 : Approche intégrée et résultats des campagnes sur le terrain.

iv) *Température de la surface terrestre*

Après avoir estimé l'émissivité de la surface de la Terre, l'étape suivante consistait à effectuer la correction LSE. Pour ce faire, la fonction Planck a été appliquée. L'équation (4) montre la fonction de Planck¹³.

$$T_s = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[\frac{\lambda \times BT}{\rho} \right] \times \ln \varepsilon \right\}} \quad (4)$$

où BT = température de luminosité

λ = longueur d'onde de la radiance émise

$\rho = (h * c / \sigma) = 1,438 - 10^{-2} \text{ mK}$

ε = émissivité spectrale

Le résultat est une carte matricielle, en degrés Celsius, qui représente les températures de surface terrestre des trois zones d'étude (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

¹³ Artis, D. A., et Carnahan, W. H. (1982). Enquête sur la variabilité de l'émissivité dans la thermographie des zones urbaines. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329.

Sinha, S., Pandey, P. C., Sharma, L. K., Nathawat, M. S., Kumar, P. et Kanga, S. (2014). Estimation à distance de la température de la surface terrestre pour différentes caractéristiques LULC d'une région de forêt tropicale humide à feuilles caduques. Dans *Applications de la télédétection à la recherche environnementale* (p. 57-68). Springer, Cham.

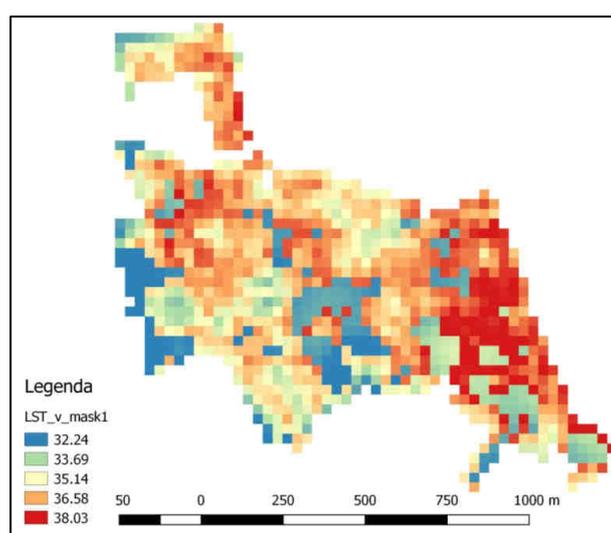
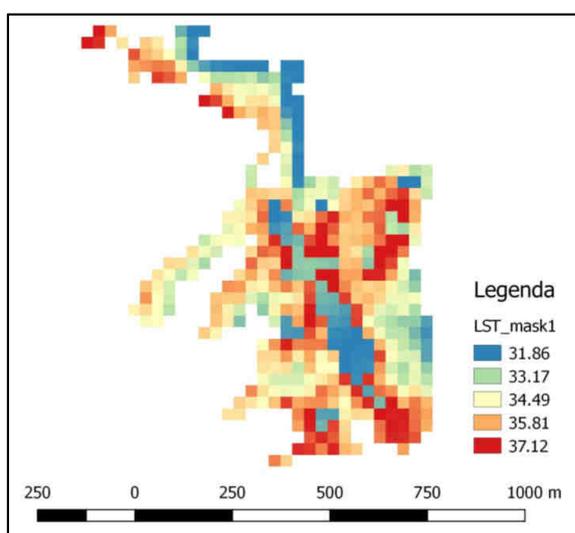
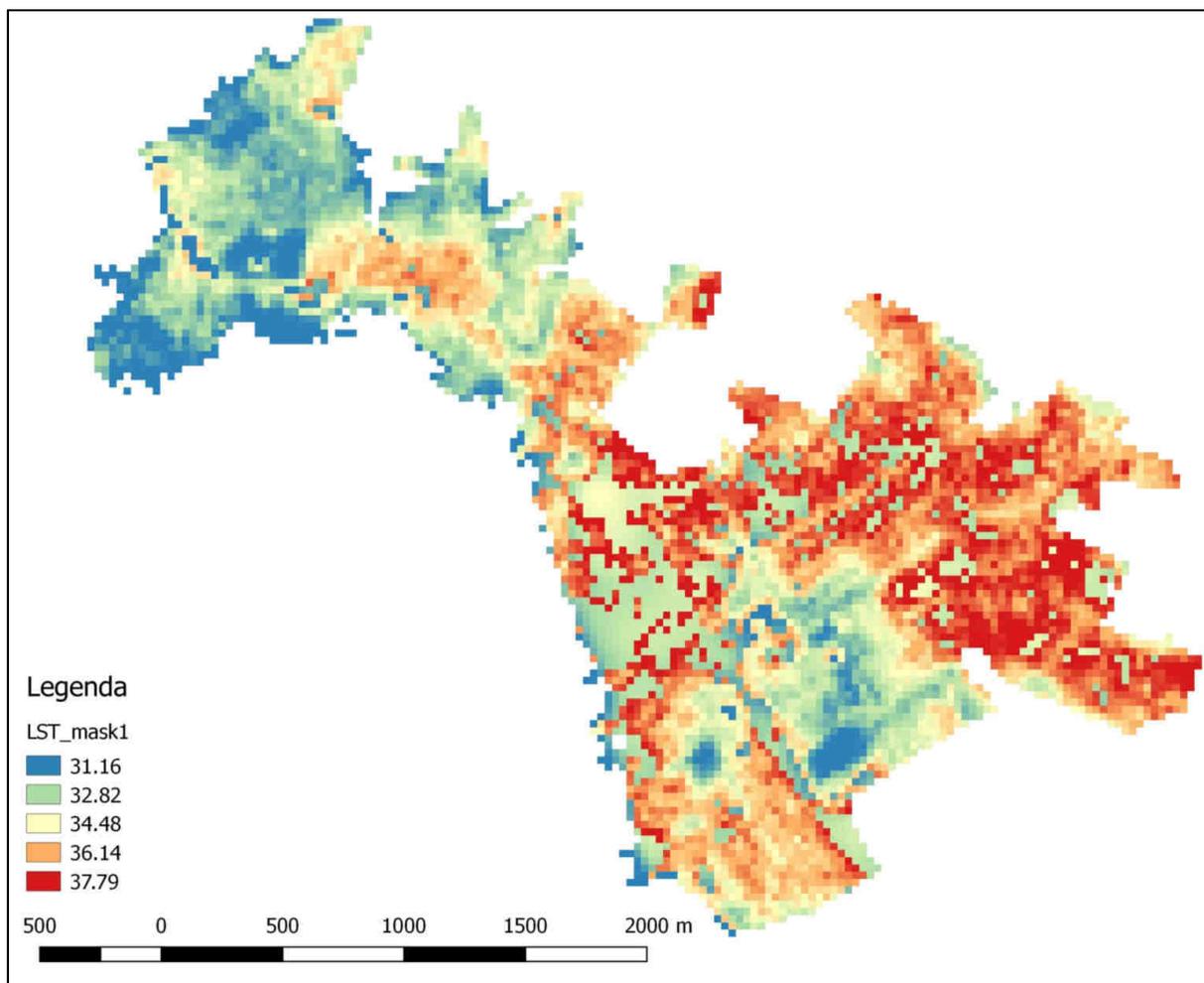


Figure 2.71 - LST des trois zones d'étude

Étape 2 : Estimation du rayonnement solaire

La deuxième phase de la méthode repose sur l'hypothèse que l'énergie solaire est le principal facteur de la variabilité locale des températures à l'échelle urbaine¹⁴. Le rayonnement solaire qui atteint la surface de la terre se distingue en : direct, diffus et réfléchi. Le rayonnement direct affecte toute surface avec un seul angle d'incidence bien défini ; le rayonnement diffus, par contre, affecte cette surface sous divers angles ; enfin, une surface inclinée peut recevoir le rayonnement réfléchi par le sol ou par des étangs d'eau ou d'autres surfaces (murs de bâtiments adjacents), cette contribution est appelée Albédo (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*). Le rayonnement solaire total qui affecte une surface est donc le suivant :

$$I_T = I_D + I_S + R \quad (5)$$

où I_D = rayonnement direct
 I_S = rayonnement diffus
R = albédo

¹⁴ Felicísimo Pérez, Á. M., et Martín-Tardío, M. Á. (2018). Une méthode de réduction d'échelle des cartes de température basée sur l'analyse de l'ombrage des collines pour utilisation dans la modélisation de la distribution des espèces. *Cartographie et science de l'information géographique*, 45(4), 329-338.

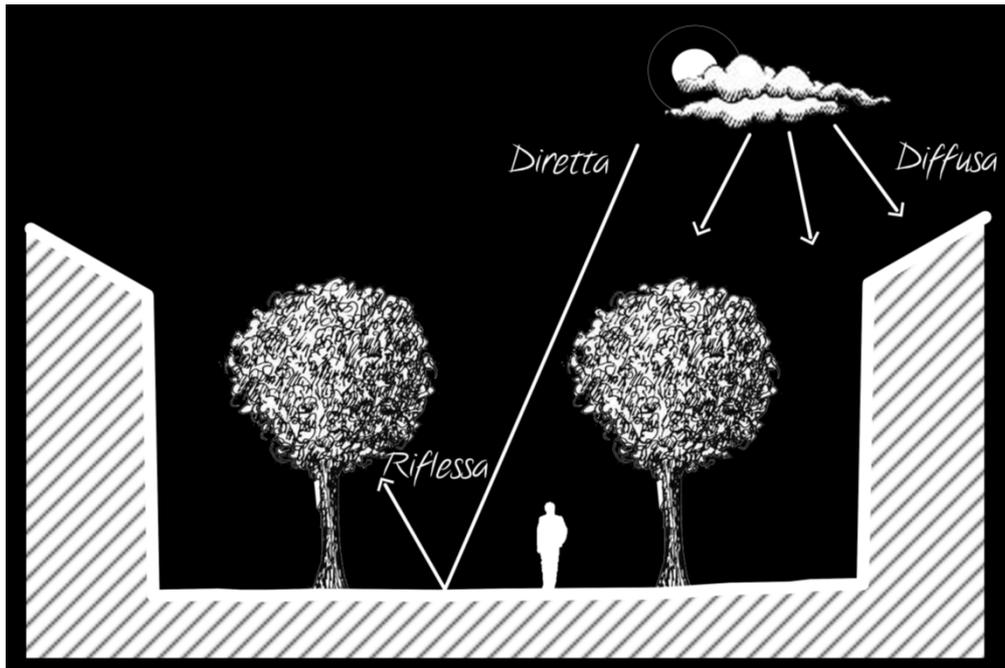


Figure 2.72 -Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est influencé par les caractéristiques de la surface, en particulier la pente, l'exposition, l'altitude et l'ombrage (Page, 1986 ; Mamassis, Efstratiadis et Apostolidou, 2012).

Le but est d'estimer un indice topographique (τ) dérivé du rayonnement solaire incident qui peut être appliqué à chaque cellule MNS de 1 m de taille pour augmenter ou diminuer la température de la cellule Landsat correspondante de 30 m de la carte de température.

La première étape consiste à évaluer le rayonnement solaire potentiel sur chaque cellule MNS de 1 m. Cette variable a été obtenue grâce au module r.sun des systèmes GRASS et QGIS. Les données d'entrée étaient le MNS, les expositions et les pentes exprimées en degrés décimaux. Le résultat, exprimé en Wh.m⁻².jour⁻¹, est une carte montrant les valeurs de rayonnement solaire potentiel (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

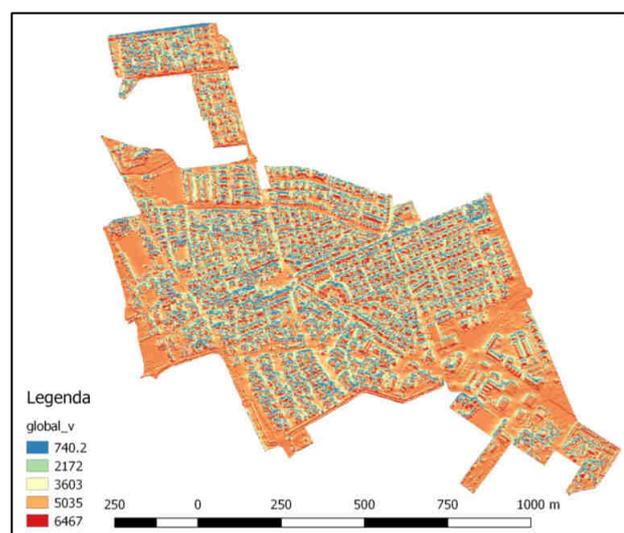
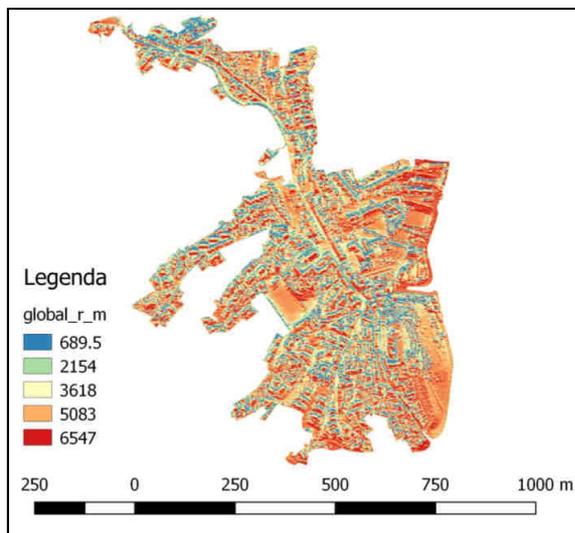


Figure 2.73 - Rayonnement global

Rayonnement solaire et végétation

La couverture de la végétation urbaine a été identifiée par l'analyse de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN), par le calcul de l'équation précédente (3), en utilisant la bande rouge et infrarouge des images aériennes.

Comme indiqué dans la littérature, l'IVDN (éq. 3) est proportionnel à l'activité photosynthétique avec une plage de variation de -1 à +1¹⁵. La valeur discriminée pour l'identification de la végétation saine dans les zones d'étude était $IVDN \geq 0,2$.

Le résultat est une carte binaire (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*), où la valeur 0 indique l'absence de végétation et la valeur 1 la présence de végétation, avec une résolution de 1 mètre similaire à celle des données LiDAR.

¹⁵ Rodgers, J. C., Murrain, A. W. et Cooke, W. H. (2009). L'impact de l'ouragan Katrina sur la végétation côtière de la réserve de Weeks Bay, Alabama, d'après les données de l'IVDN. *Estuaires et côtes*, 32(3), 496-507.
Bhandari, A. K., Kumar, A. et Singh, G. K. (2012). Extraction de caractéristiques à l'aide de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) : Une étude de cas de la ville de Jabalpur. *Procedia technology*, 6, 612-621.



Figura 2.74 - IVDN

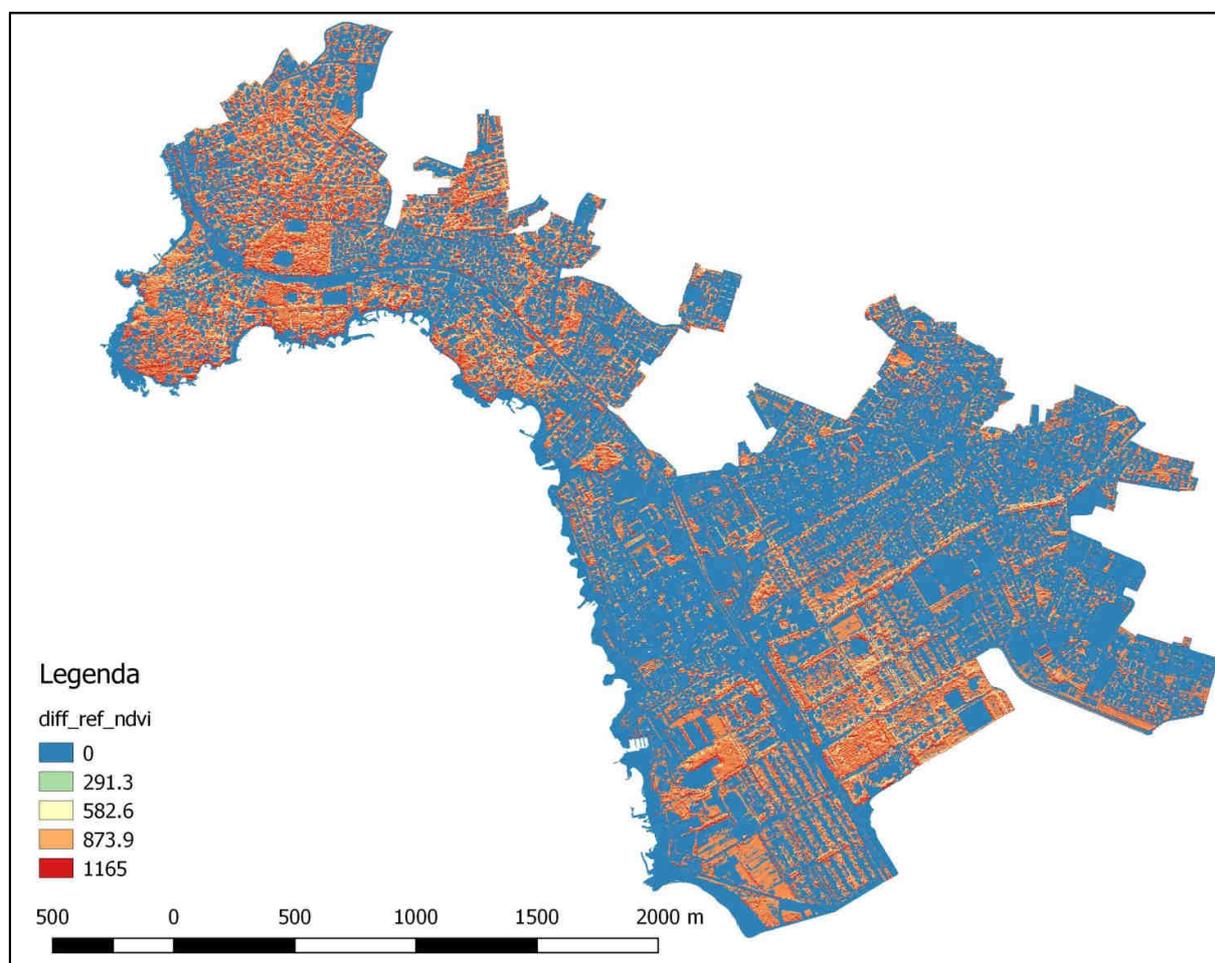
Par la suite, la carte binaire a été multipliée par la somme du rayonnement solaire diffus et réfléchi pour obtenir la façon dont les rayons du soleil affectent la végétation urbaine. Comme pour l'étude il était nécessaire d'obtenir la LST sous le couvert des arbres, l'intention étant de démontrer que la végétation est un élément essentiel pour l'atténuation du microclimat urbain, l'équation suivante a été élaborée (6) :

$$I = (I_{DR} > 0) \times I_{DR} + (I_{DR} = 0) \times I_T \quad (6)$$

où I_{DR} = rayonnement solaire direct et diffus sous le feuillage des plantes

I_T = rayonnement global

Le résultat est une carte raster avec une résolution de 1 mètre, qui indique le rayonnement solaire au sol et sous la cime des arbres (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).



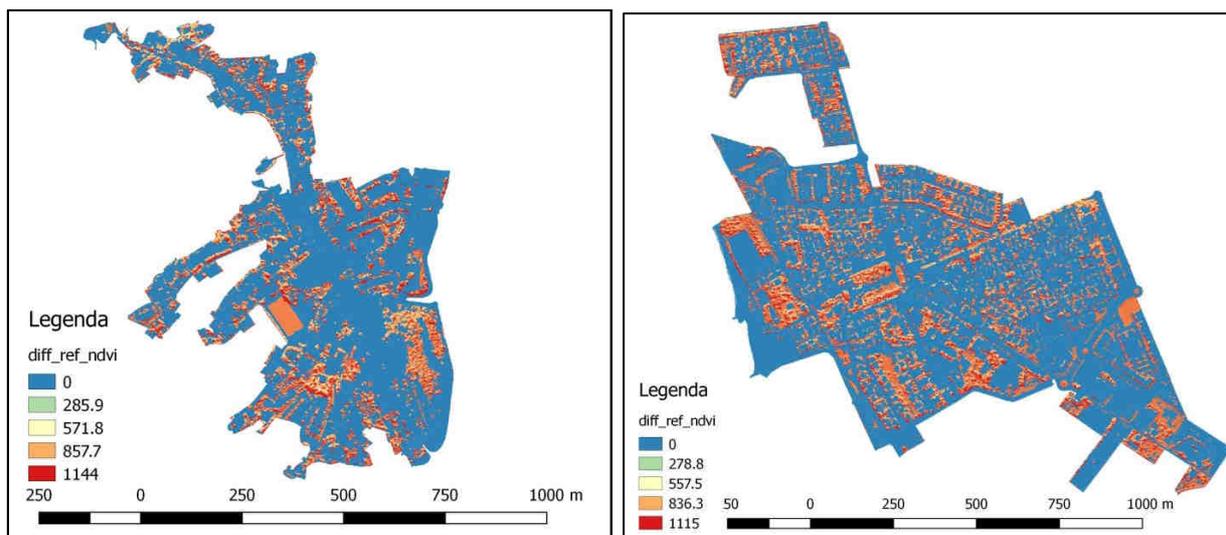


Figure 2.75 - Radiazione solare sotto la chioma degli alberi

Calcul de l'indice topographique τ

L'étape suivante consiste à estimer l'effet des différences de rayonnement dues aux relevés urbains sur les températures en calculant l'indice topographique (τ). Cette estimation a été faite en appliquant la loi de Stefan-Boltzmann, qui stipule que l'émission d'un corps noir (E) est proportionnelle à la quatrième puissance de sa température, comme le montre l'équation (7) ci-dessous.

$$E = \sigma \times T^4 \quad (7)$$

où σ = constante de Stefan-Boltzmann

T = température absolue

Cette équation montre comment une relation entre l'énergie et la température peut estimer les valeurs de τ .

Pour effectuer la procédure, il a été nécessaire d'appliquer une technique de *mise à l'échelle* à la carte du rayonnement solaire calculé sur les données LiDAR en appliquant un filtre passe-bas avec un noyau de 30 mètres égal à la résolution du LANDSAT (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*). L'indice topographique τ est calculé en fonction du rapport, pour chaque pixel, entre la carte LST et la carte résultant de l'application du noyau. En fin de compte, les valeurs de τ indiquent l'effet du rayonnement solaire sur la valeur moyenne de la température à grande échelle mesurée par le capteur thermique LANDSAT.

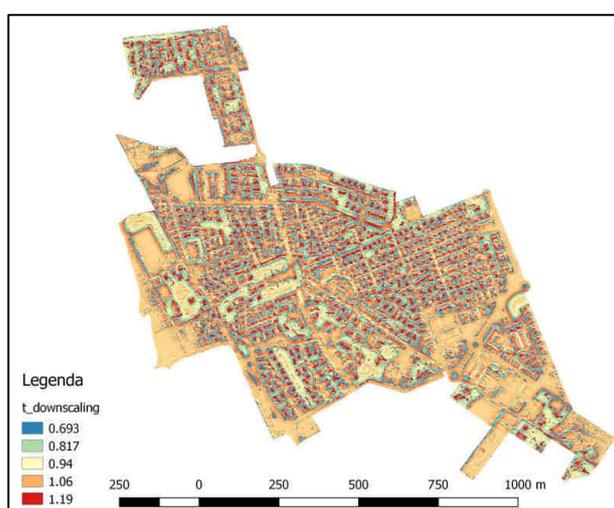
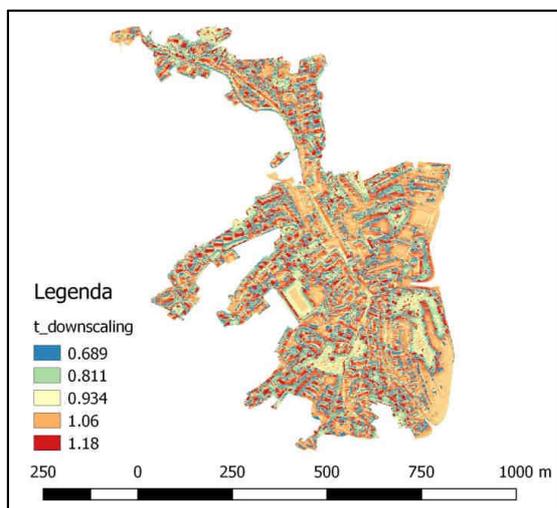
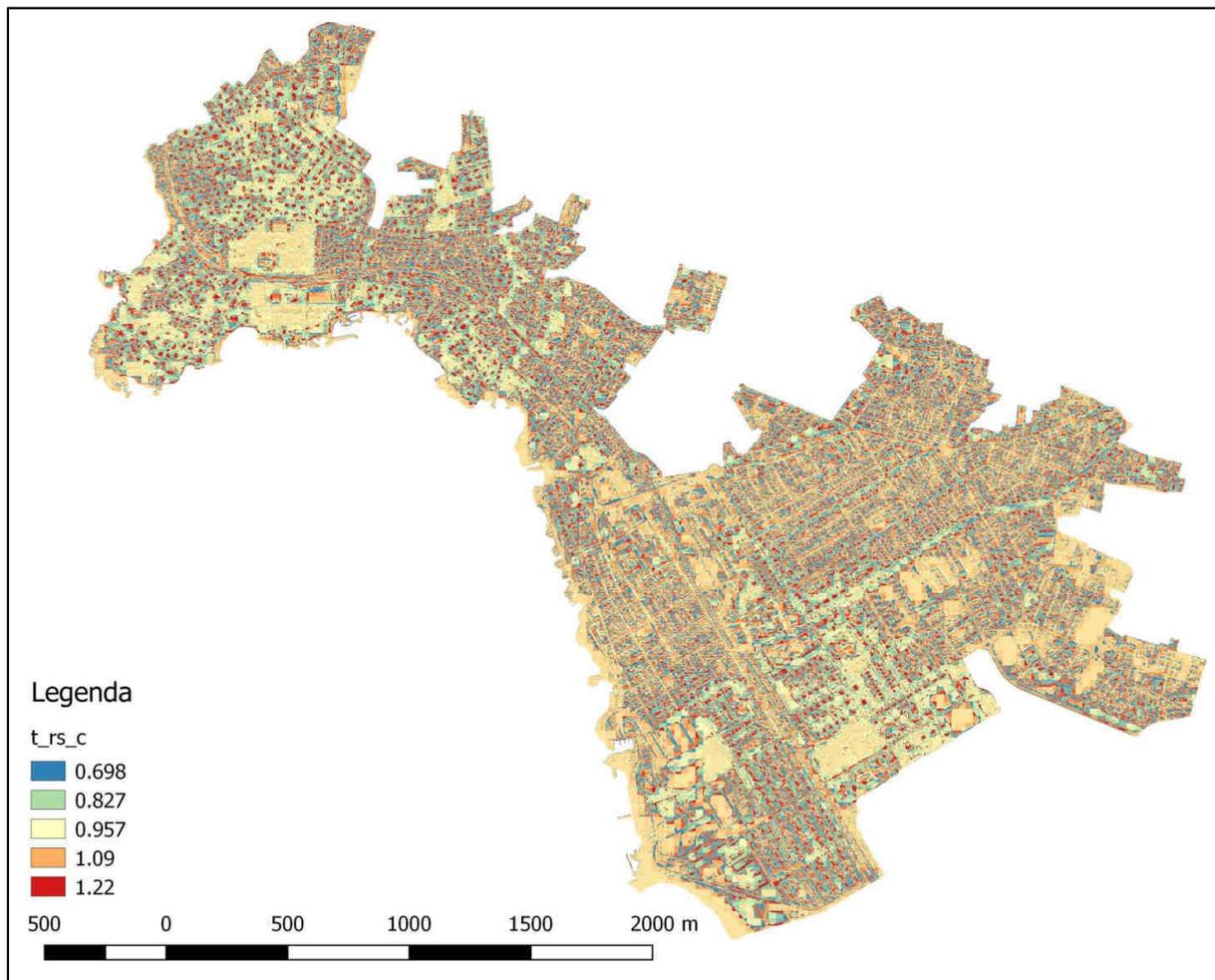
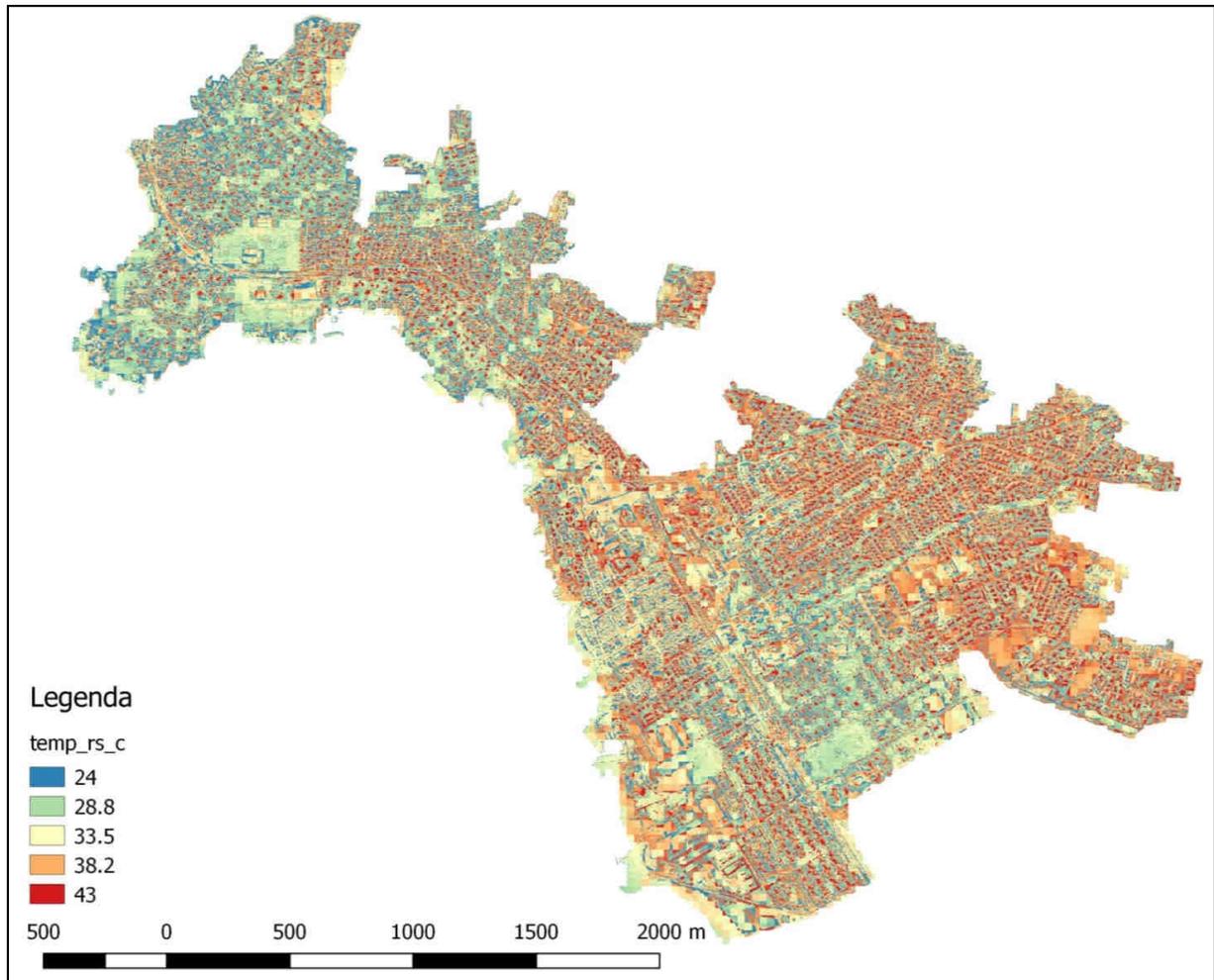


Figure 2.76 - Indice topografico

Étape 3 : Application de l'indice topographique τ

La dernière étape consiste à multiplier les deux cartes (température Landsat et indice topographique) pour obtenir les cartes finales des températures actuelles à 1x1 mètre (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).



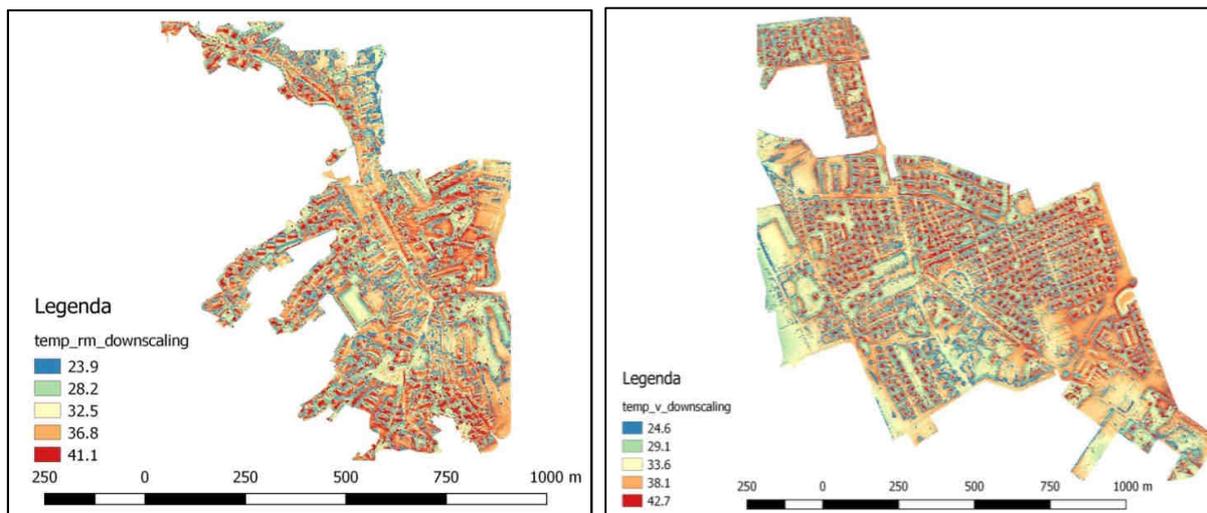


Figure 2.77 - Temperature attuali

Le Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. montre comment, dans les trois endroits, les zones à température élevée sont celles qui sont caractérisées par un matériau imperméable comme l'asphalte dans le cas des routes ou des toits des bâtiments ; tandis que les espaces verts sportifs/récréatifs que sont les rangées d'arbres ont des températures beaucoup plus basses, ce qui atténue considérablement la température. L'effet de la verdure publique dans l'atténuation des températures estivales est donc démontré. L'échelle de détail élevée de la carte permet également d'estimer l'effet de la verdure publique par rapport aux rapports dimensionnels des configurations spatiales du tissu urbain tant dans le cas des places que des avenues arborées.

2.2.2.2 Températures futures

Étape 1 : Choix du modèle

La simulation de l'adaptation aux changements climatiques a été réalisée à l'aide des données climatiques mondiales provenant des modèles GCM calculés pour les scénarios du Rapport V du IPCC. Le modèle choisi est le GFDL-ESM2G (Dunne, 2012), qui dérive du couplage de deux modèles de systèmes terrestres (GFDL+ESM), développés au Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pour faire progresser la compréhension de la façon dont les cycles biogéochimiques de la Terre, y compris les actions humaines, interagissent avec le système climatique (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).

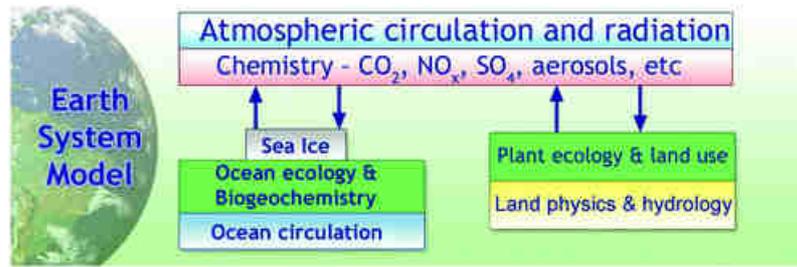


Figura 2.78 –Diagramme d’un modèle du système terrestre

Un modèle de circulation atmosphérique a été couplé à un modèle de circulation océanique - avec des représentations de la dynamique des terres, des glaces de mer et des icebergs - pour étudier les interactions entre le climat et les écosystèmes et leurs changements potentiels, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

Pour atteindre l'objectif, les données prises en compte sont les variables climatiques de la température moyenne maximale (degrés C * 10) actuelle (1960-1990) et future (2041-2060).

Le modèle comporte des scénarios pour trois voies de concentration représentatives (RCP) : RCP2.6 (+2,6 W/m²), RCP4.5 (+4,4 W/m²), RCP6 (+6,0 W/m²).

Étape 2 : Application du modèle

Après avoir téléchargé les données Worldclim, la première étape a consisté à trouver l'indice i , défini comme le rapport entre la moyenne des températures maximales actuelles et la moyenne des températures maximales futures, selon l'équation suivante :

$$i = \frac{T_f}{T_a} \quad (8)$$

- où
- i = indice de température
 - T_f = température future
 - T_a = température actuelle

La dernière étape était de multiplier cet indice par la carte de température (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*), afin d'obtenir des projections futures des trois scénarios pour les trois endroits. Le *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.* indiquer les valeurs moyennes actuelles et futures de la température pour chaque zone et l'indice qui a été appliqué pour obtenir les projections de température jusqu'en 2050.

		ROSIGNANO- CASTIGLIONCELLO	ROSIGNANO MARITIMO	VADA
COURAN T		28,6	28,2	28,8
	rcp5026	29,8	29,4	30
FUTUR	rcp5045	30,8	30,4	31
	rcp5060	30	29,6	30,2
INDICE	rcp5026	1,04	1,04	1,04
	rcp5045	1,08	1,08	1,08
	rcp5060	1,05	1,05	1,05

Tableau 2.50 - Températures moyennes actuelles et futures et indice de température

Étape 3 : Résultats

Scénarios Rosignano Solvay-Castiglione

Dans le cas de Rosignano Solvay-Castiglione, le premier scénario (RCP2.6) montre une augmentation de la température minimale de 1°C et de 2°C pour la température maximale (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; dans le second scénario (RCP4.5), la minimale augmente de 3° et la maximale de 4° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; enfin, dans le dernier, la minimale augmente de 2°C et la maximale de 3° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

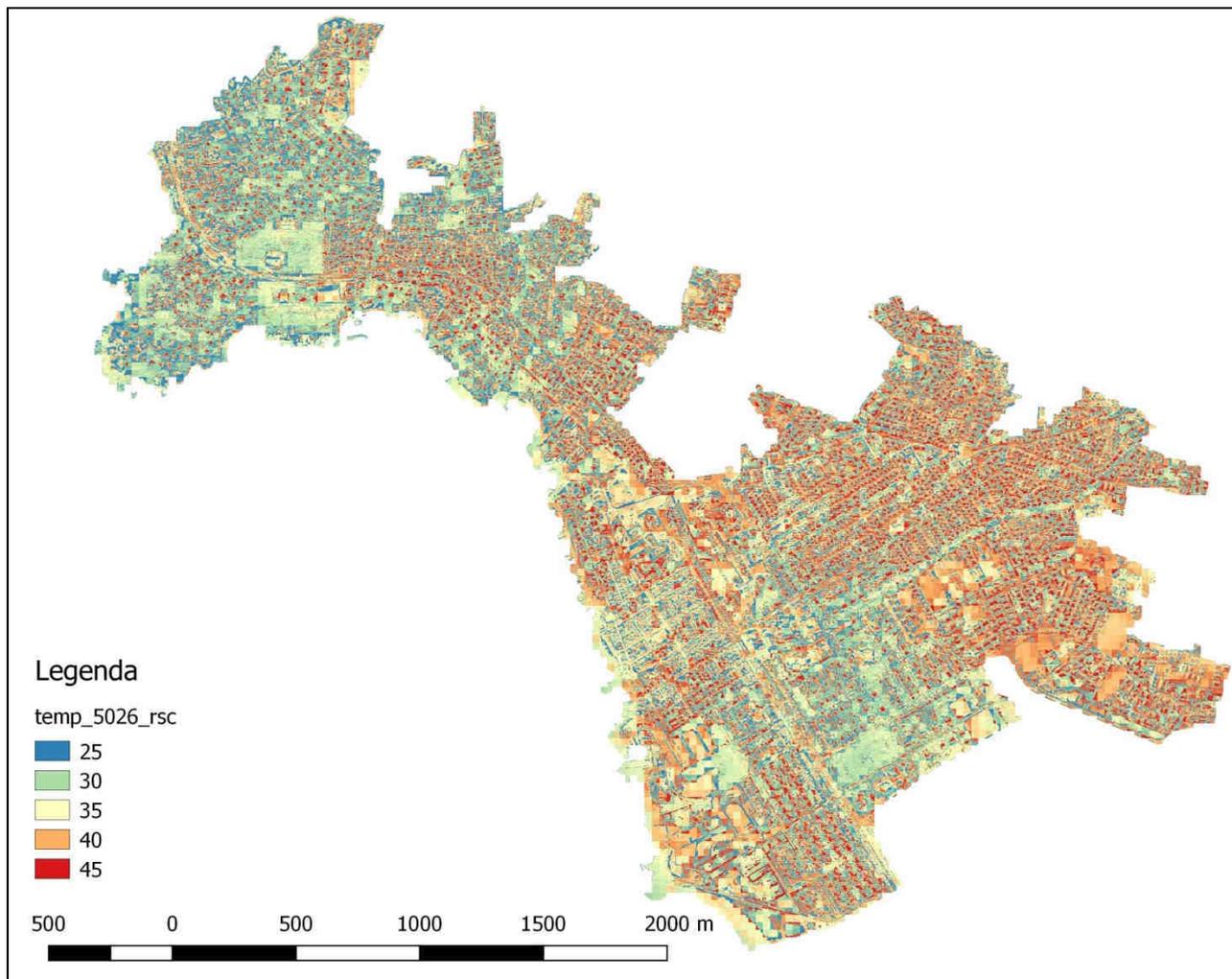


Figure 2.79 -RCP26

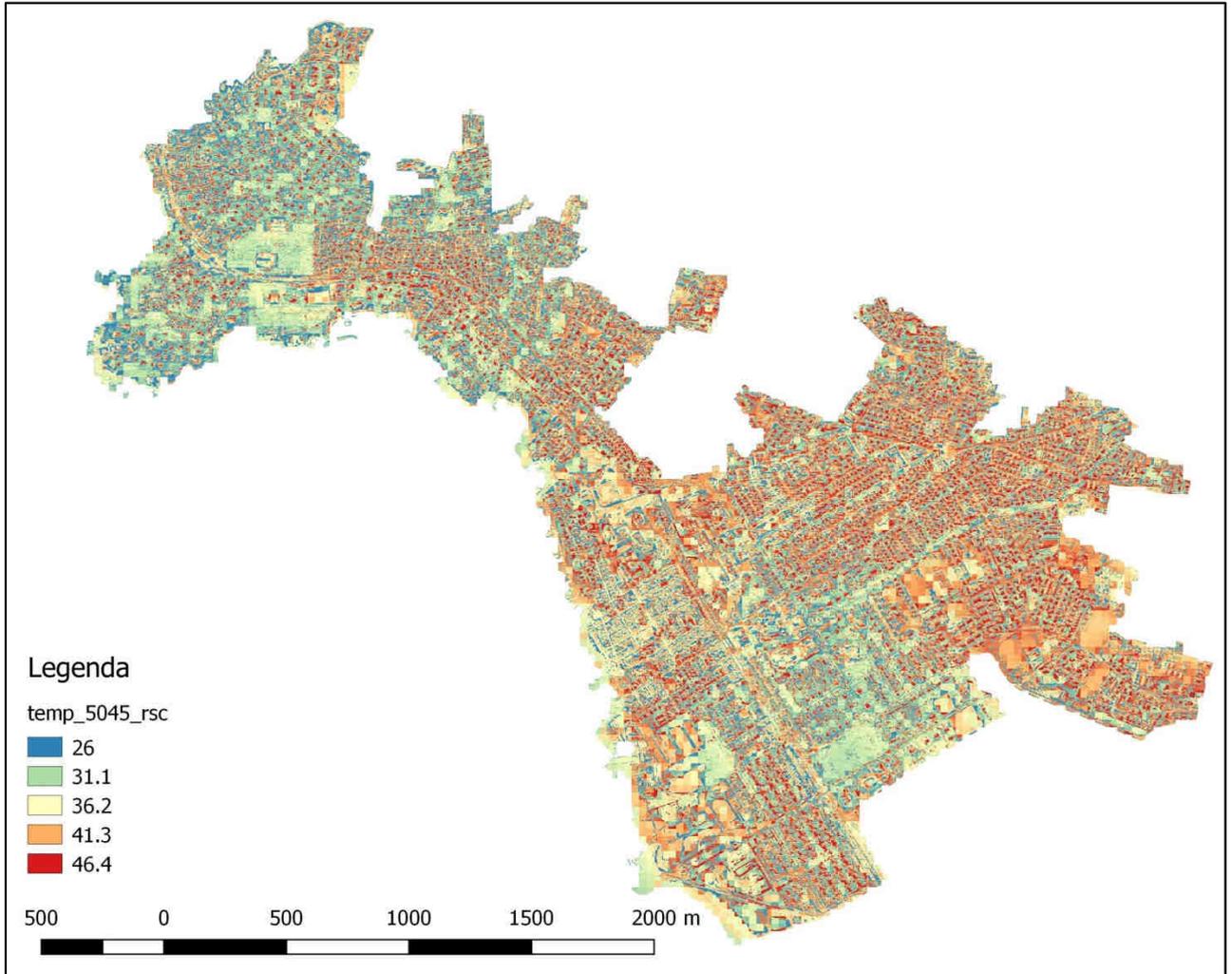


Figure 2.80 –RCP45

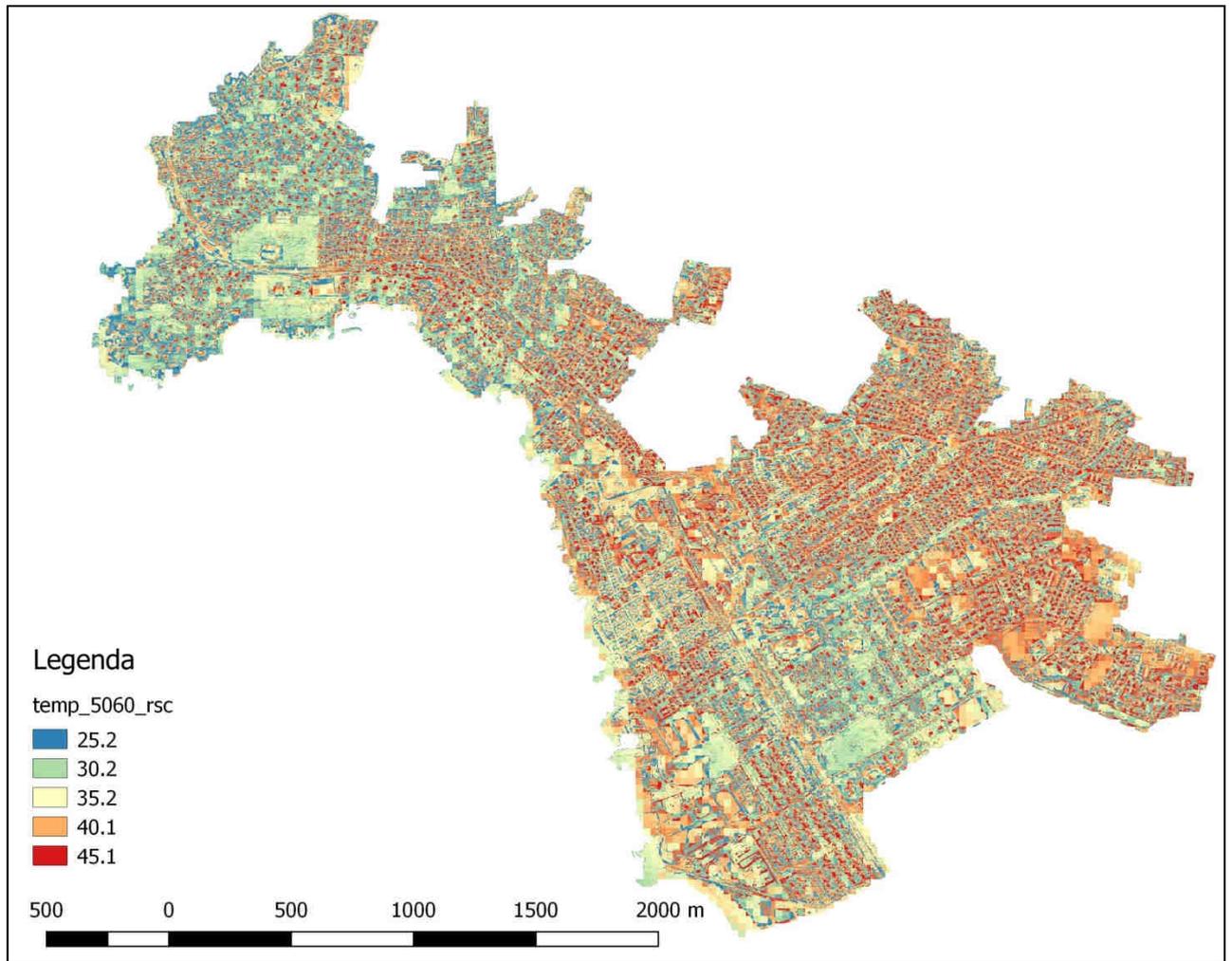


Figure 2.81 –RCP60

Scénarios de Rosignano Marittimo

Dans le cas de Rosignano Marittimo, on a obtenu que dans le premier scénario (RCP2.6), la température minimale augmente de 1°C et la température maximale de 2°C (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; dans le second (RCP4.5), la minimale augmente de 1,5°C et la maximale de 4° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; dans le dernier (RCP6.0), la minimale augmente de 1°C et la maximale de 2,5° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

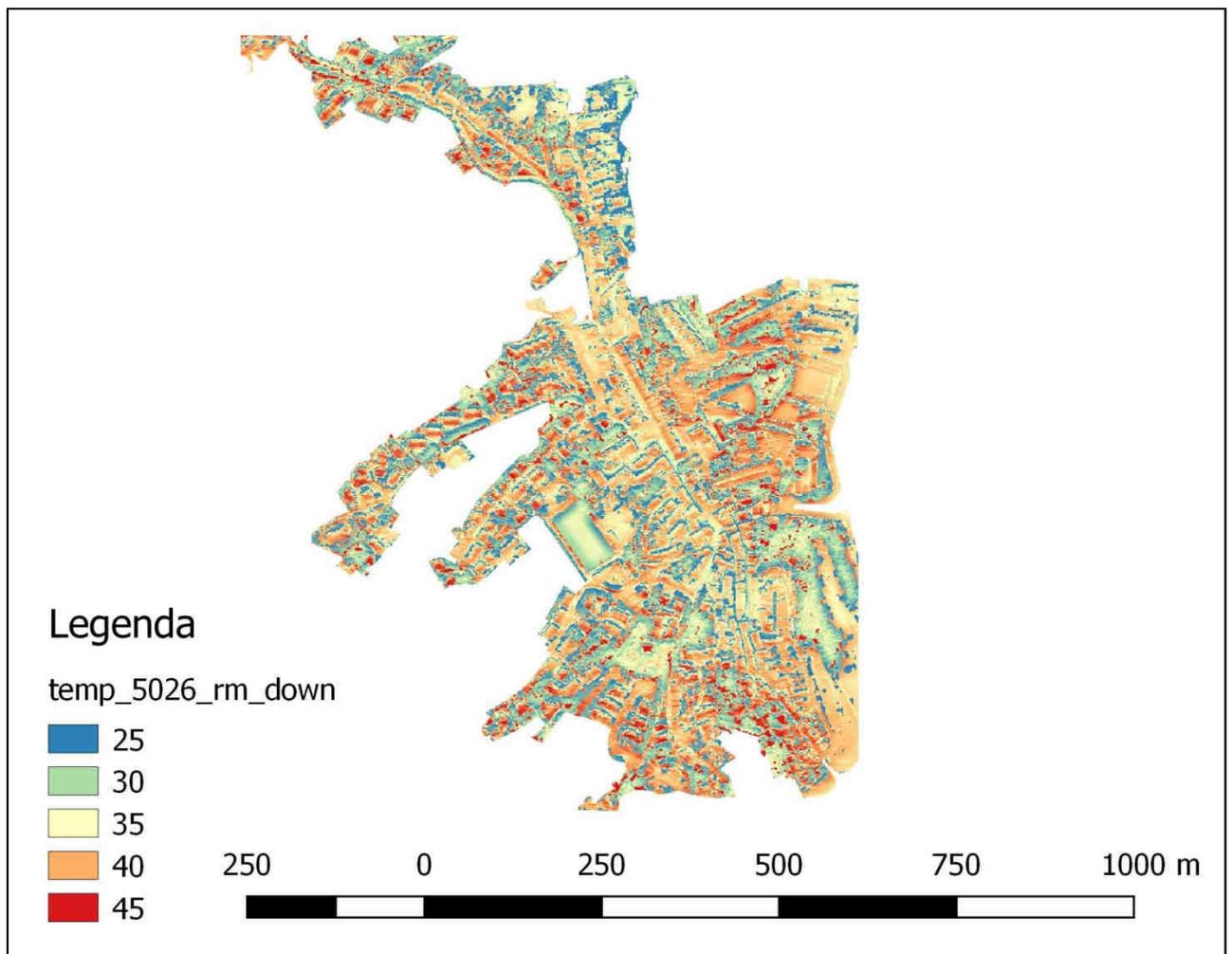


Figure 2.82 –RCP26

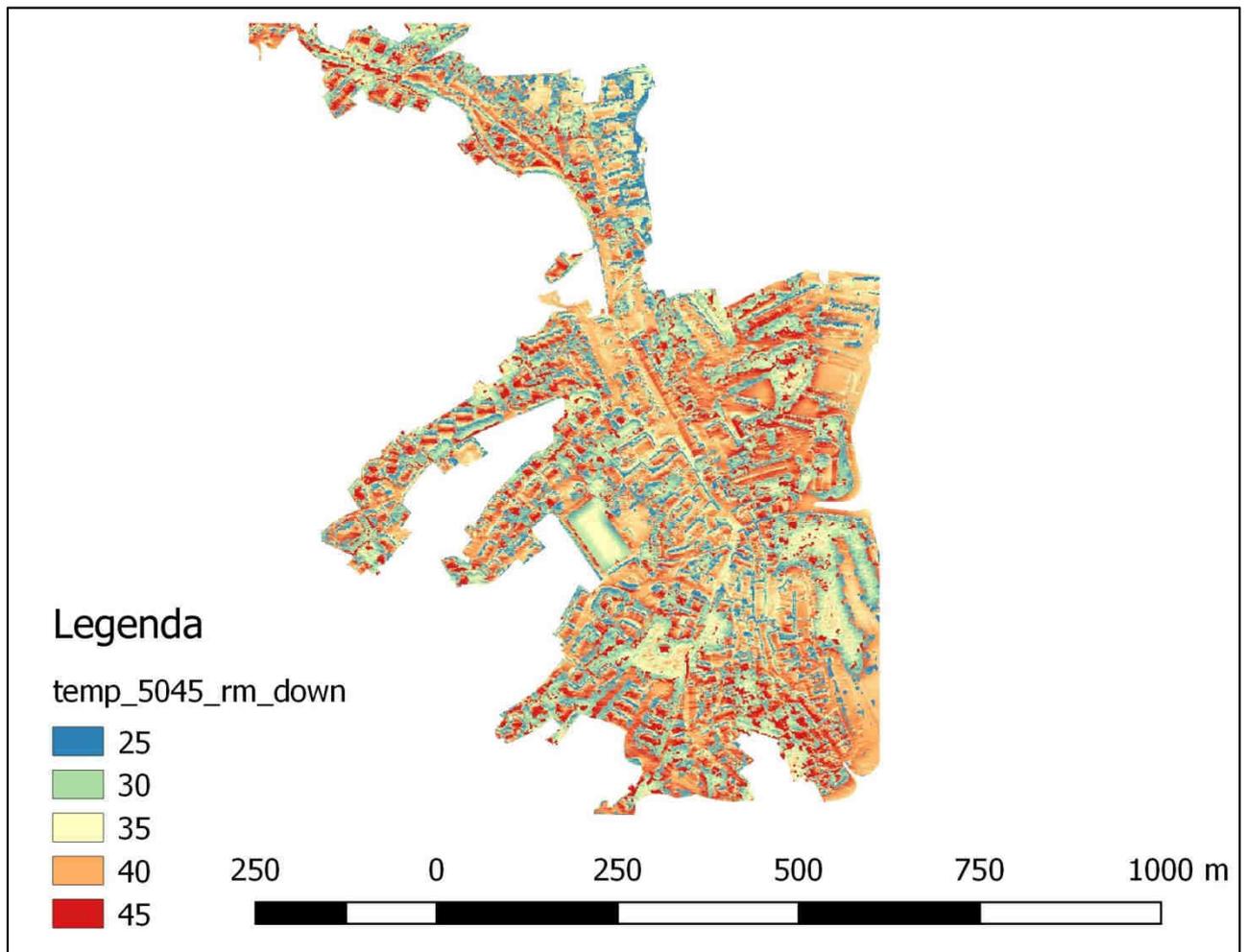


Figure 2.83 –RCP45

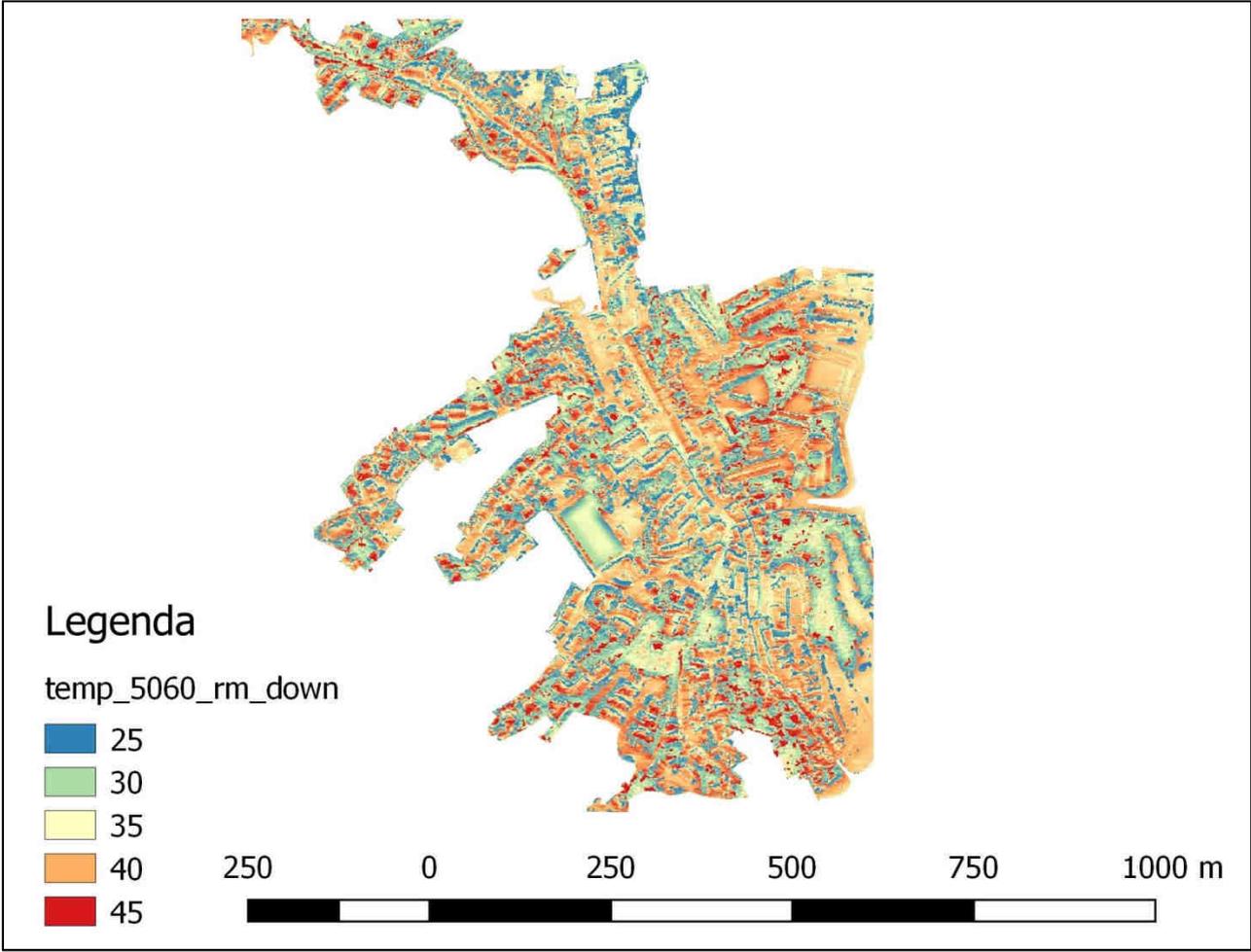


Figure 2.84 -RCP60

Scénarios Vada

Dans le cas de Vada, on a obtenu que dans le premier scénario (RCP2.6), la température minimale augmente de 1,5°C et la température maximale de 2°C (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; dans le second (RCP4.5), la minimale augmente de 3°C et la maximale de 4° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*) ; dans le dernier, la minimale augmente de 2°C et la maximale de 3° (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*).

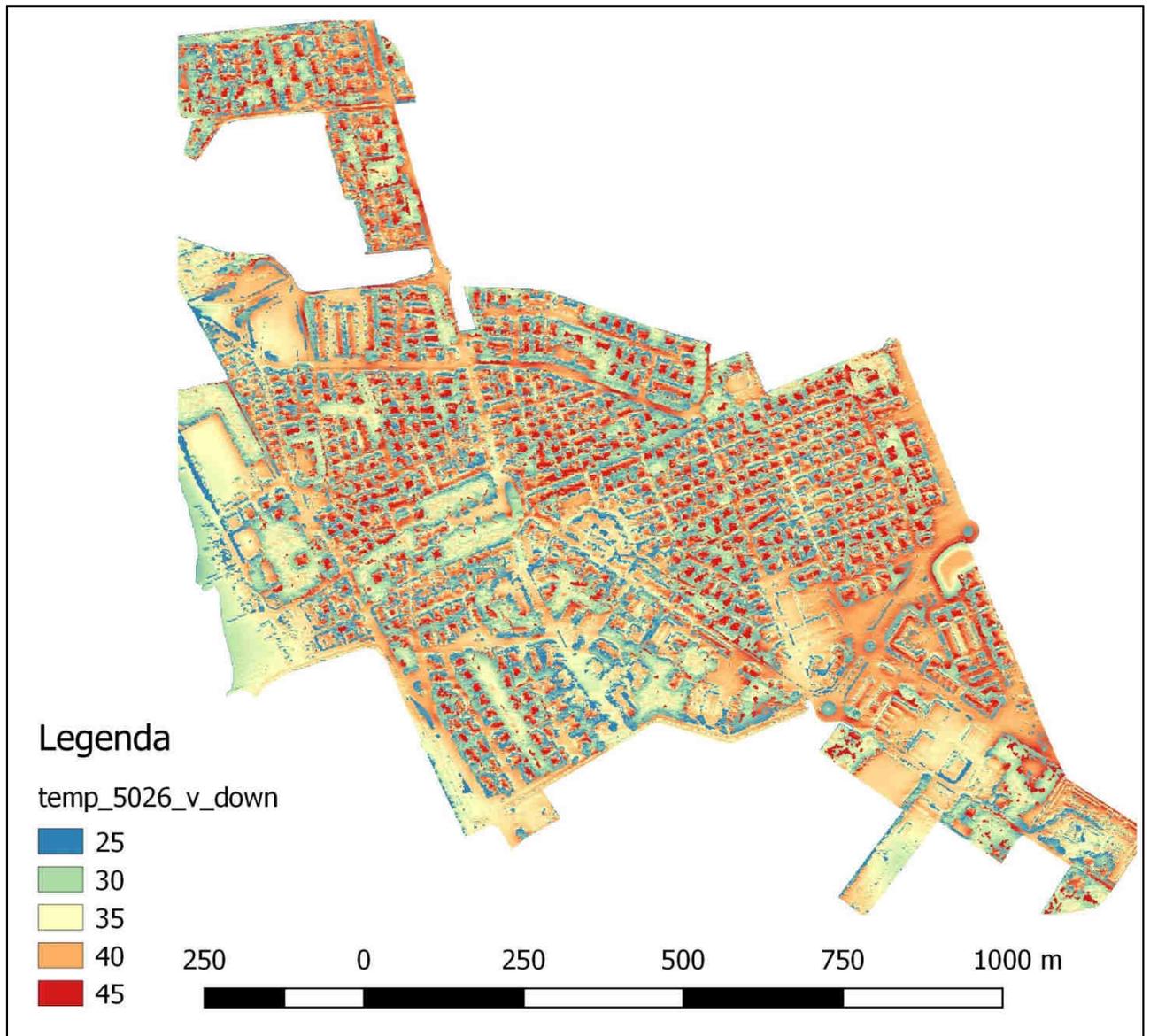


Figure 2.85 –RCP26

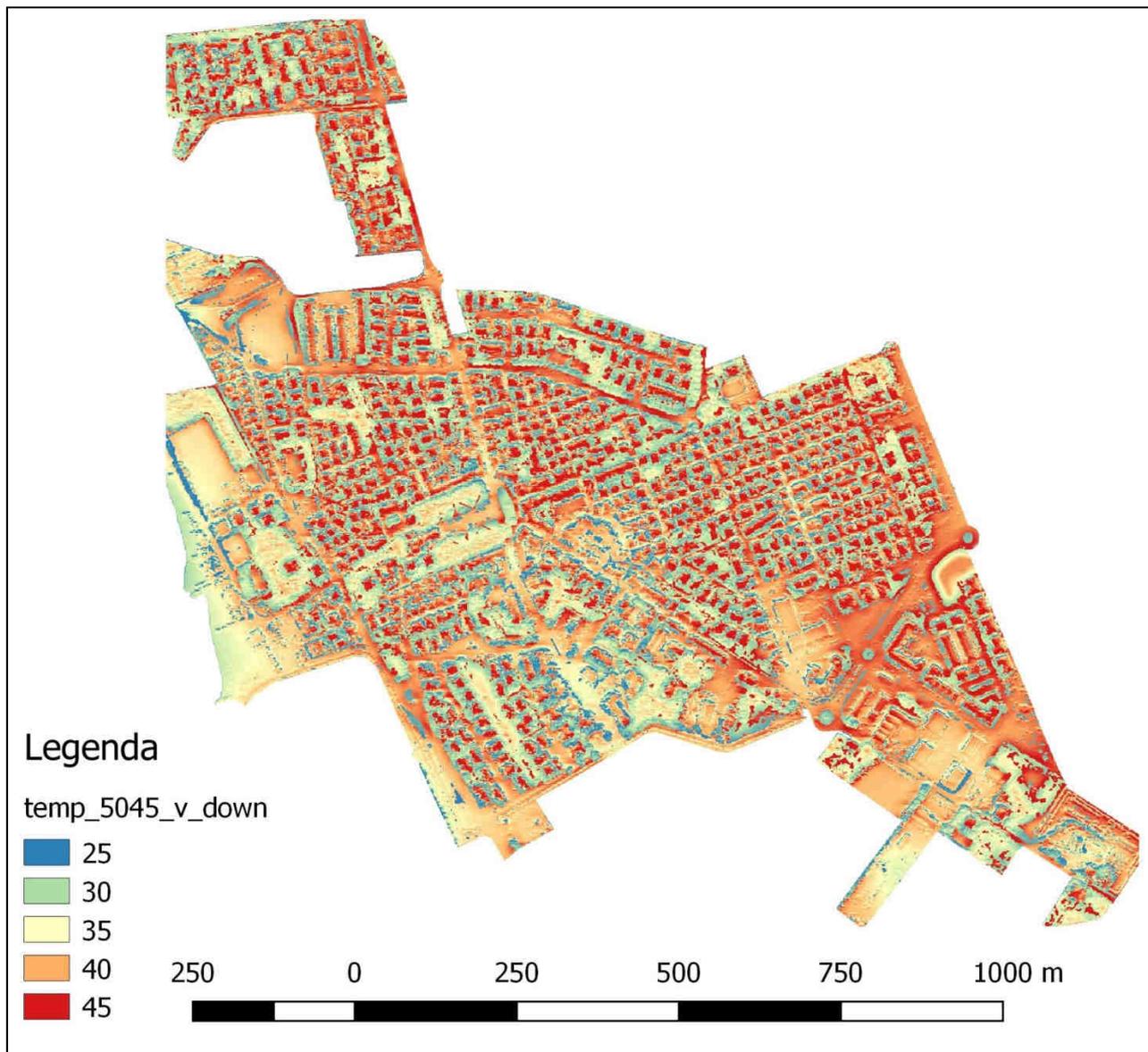


Figure 2.86 –RCP45

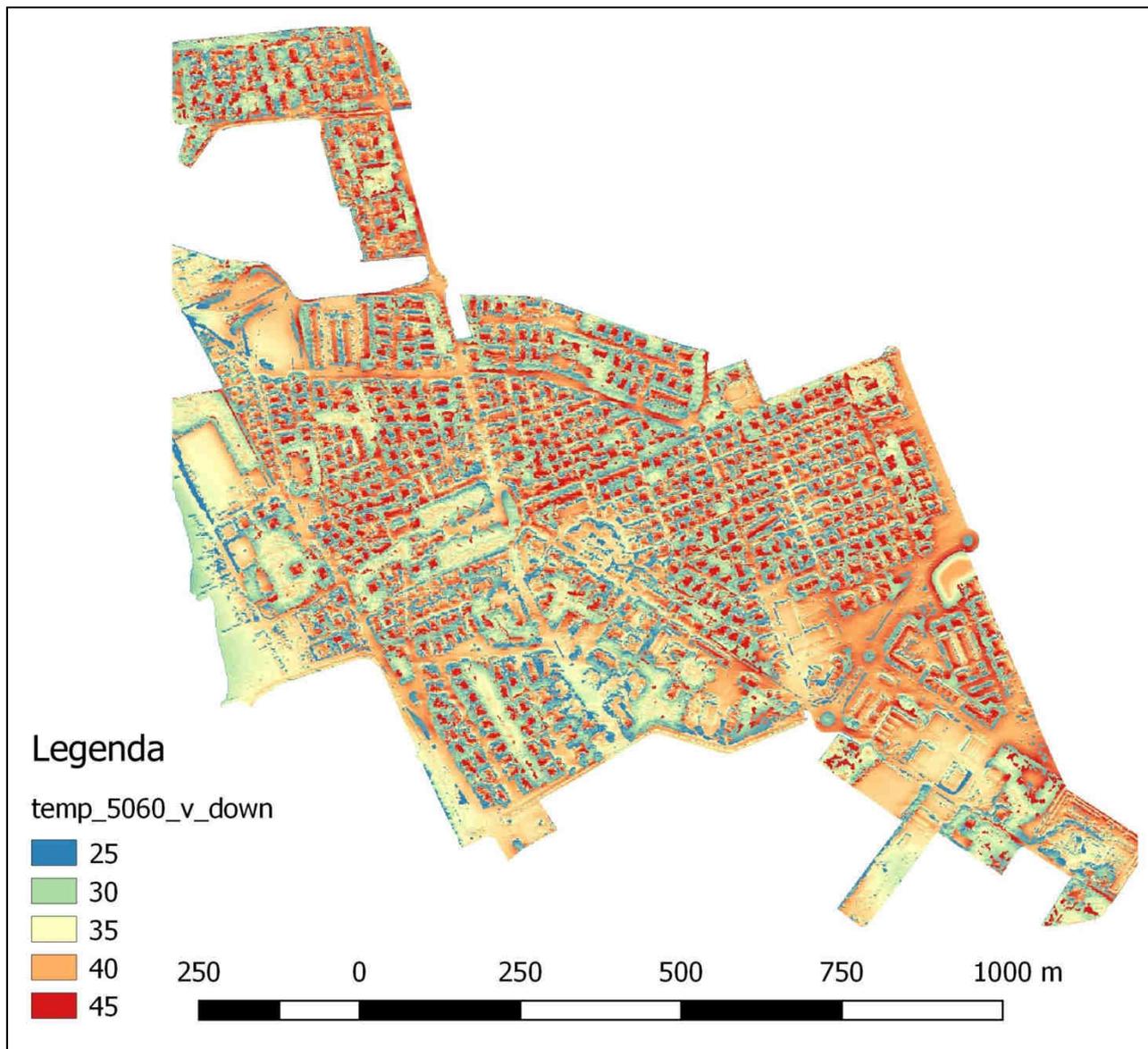


Figure 2.87 –RCP60

2.2.2.3. Discussion des résultats

Les projections futures montrent qu'avec l'augmentation des émissions de CO₂, il y aura une augmentation progressive de la température. Si les températures de surface actuelles pendant la période estivale sont d'au moins 24 °C et d'au plus 41 °C, les températures futures passeront de 1 °C à 3 °C pour la minimale de 2 °C à 4 °C pour la maximale.

Voici quelques élargissements des zones d'étude en tenant compte de deux configurations de l'espace urbain caractéristiques des villes. Dans le premier cas, le *Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.* montre la différence entre la configuration du Viale (Viale Italia) et la rue urbaine (Via Divisione Garibaldi).



Figure 2.88 –Viale Italia e via Divisione Garibaldi – Vada

Le *Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.*, *Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.*, *Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.* et *Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.* soulignent que le changement climatique pourrait provoquer une augmentation progressive de la température et font remarquer qu'une avenue bordée d'arbres (Viale Italia) subit une augmentation de température beaucoup plus faible que les routes asphaltées sans verdure publique (Via Divisione Garibaldi).

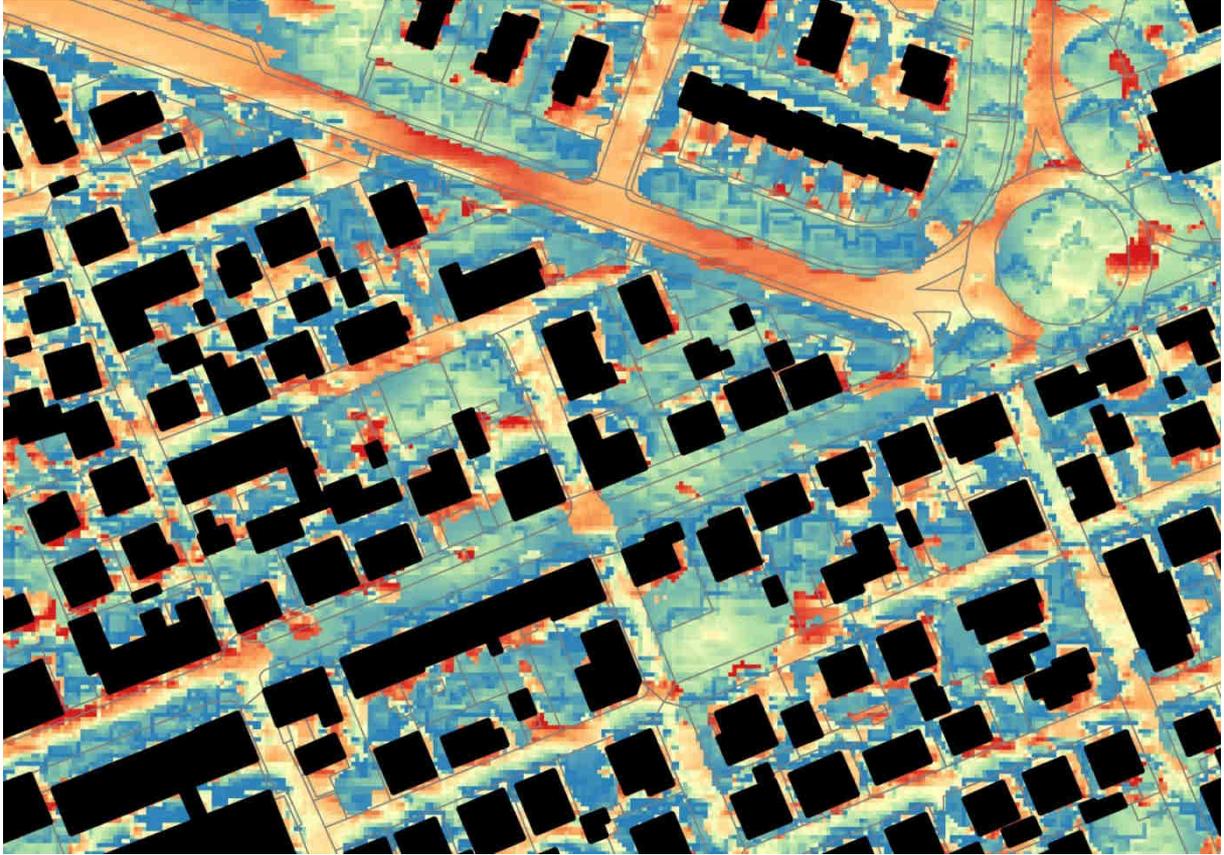


Figure 2.89 –Température actuelle

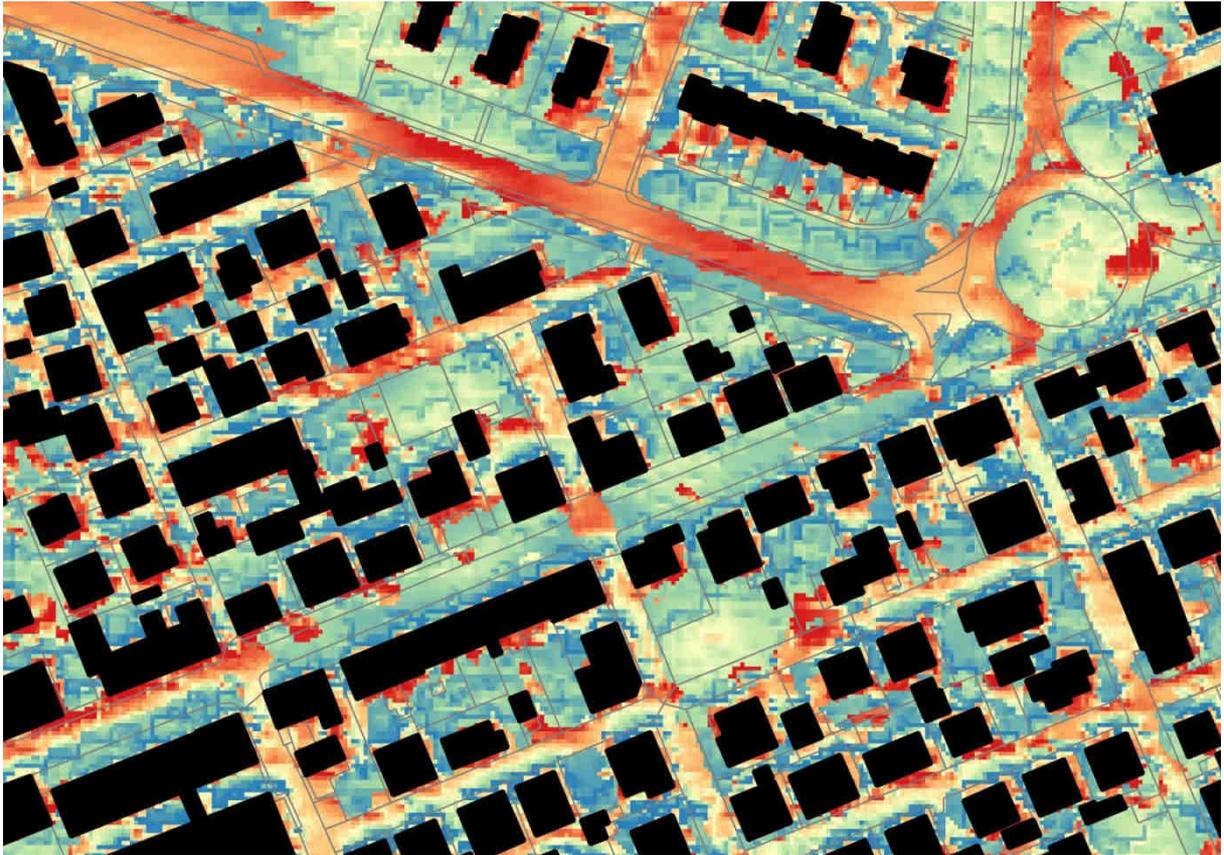


Figure 2.90 –Scénario 2.6

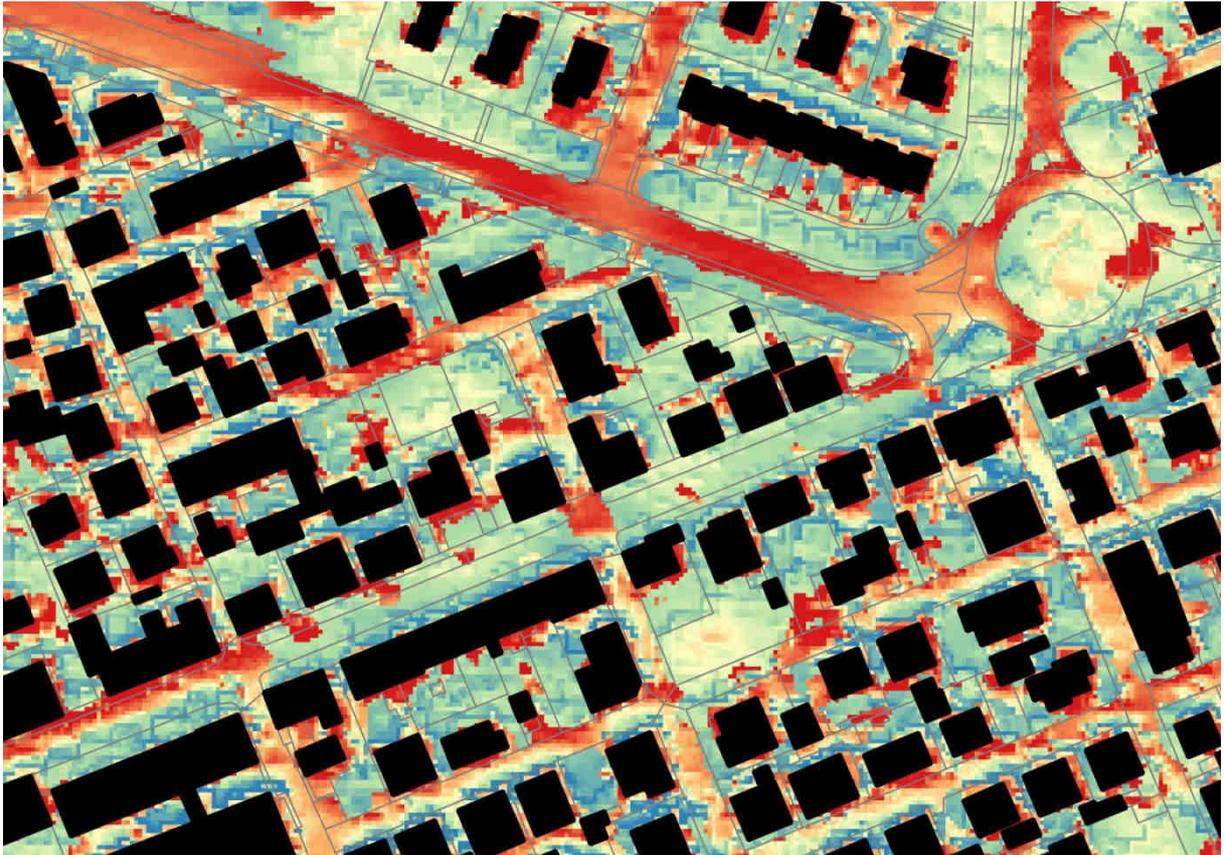


Figure 2.91 –Scénario 4.5

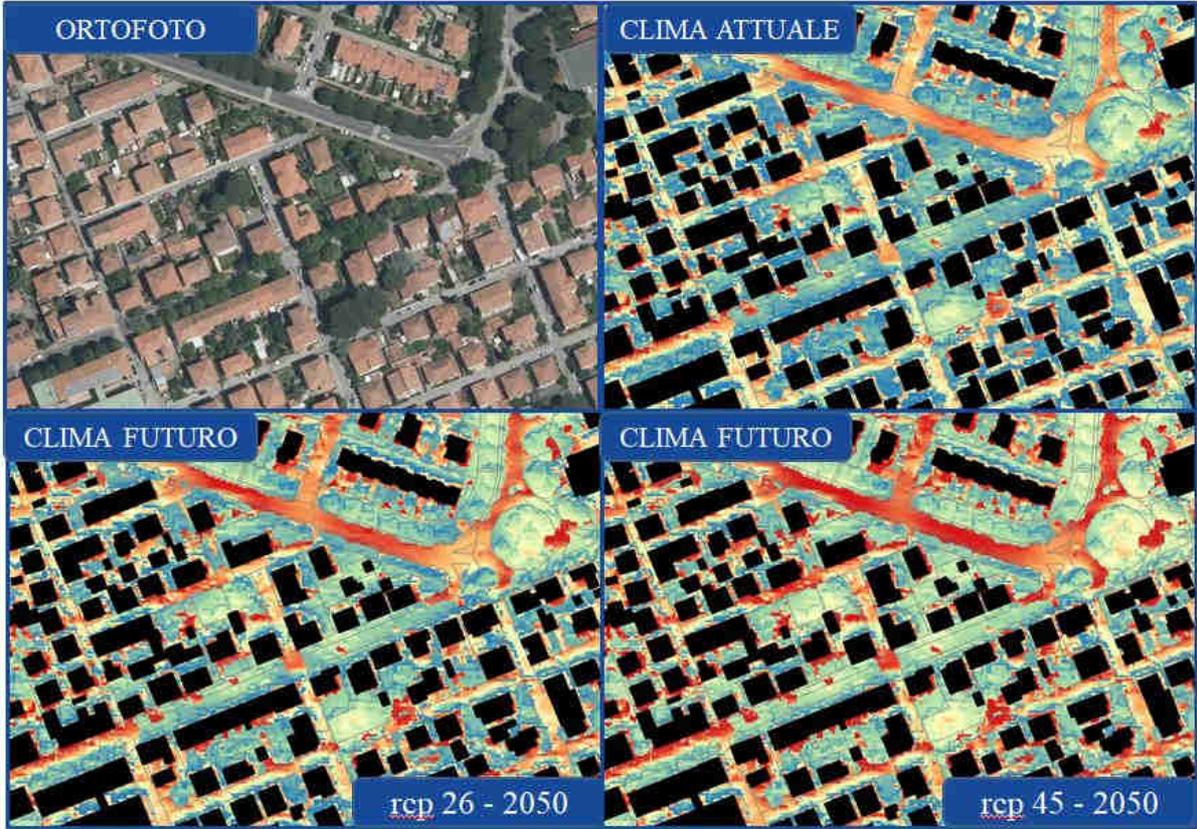


Figure 2.92 –Comparaison actuelle vs futur Viale Italia et Via Divisone Garibaldi

Deux exemples significatifs sont également donnés pour l'espace public : le premier (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. et suivants*) concernant la place Garibaldi à Vada, et la deuxième place San Nicola à Rosignano Marittimo (*Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. et suivants*).



Figure 2.93 –Piazza Garibaldi – Vada

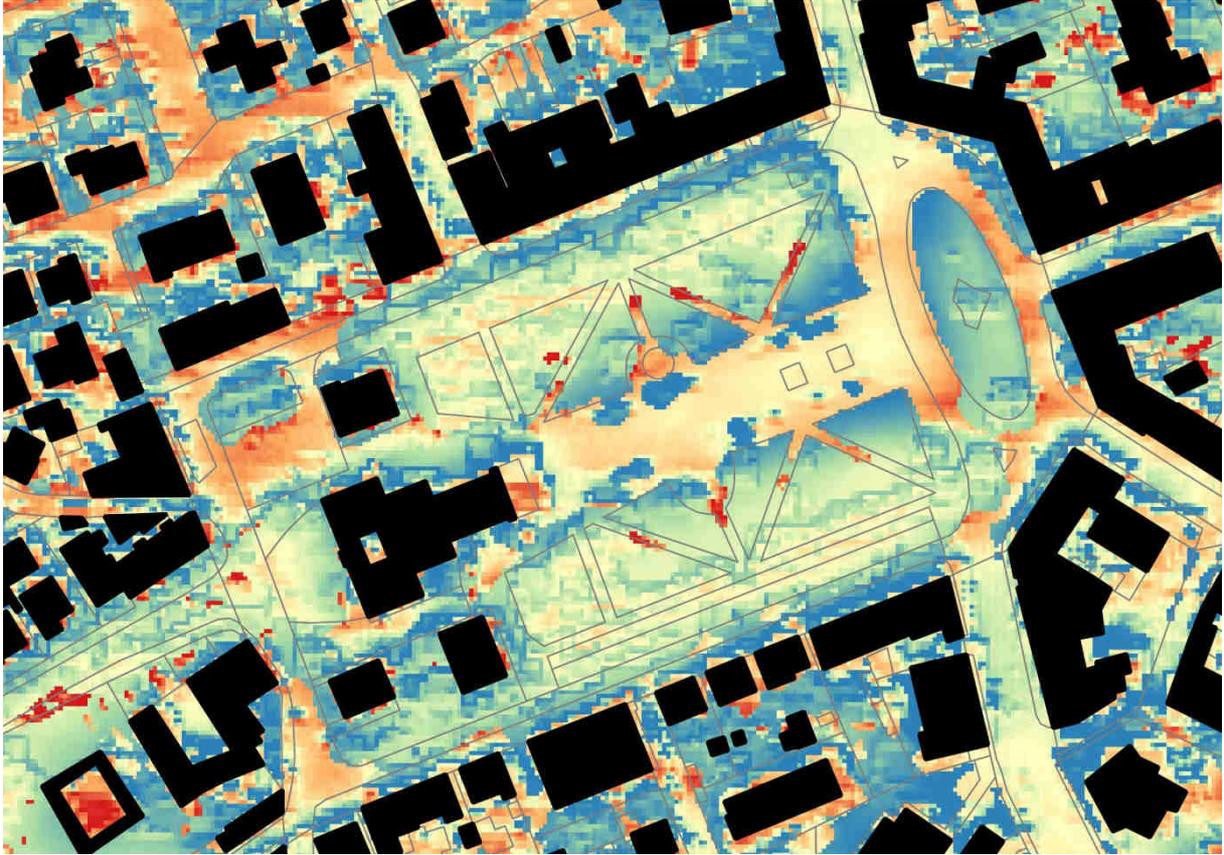


Figure 2.94 –Température actuelle

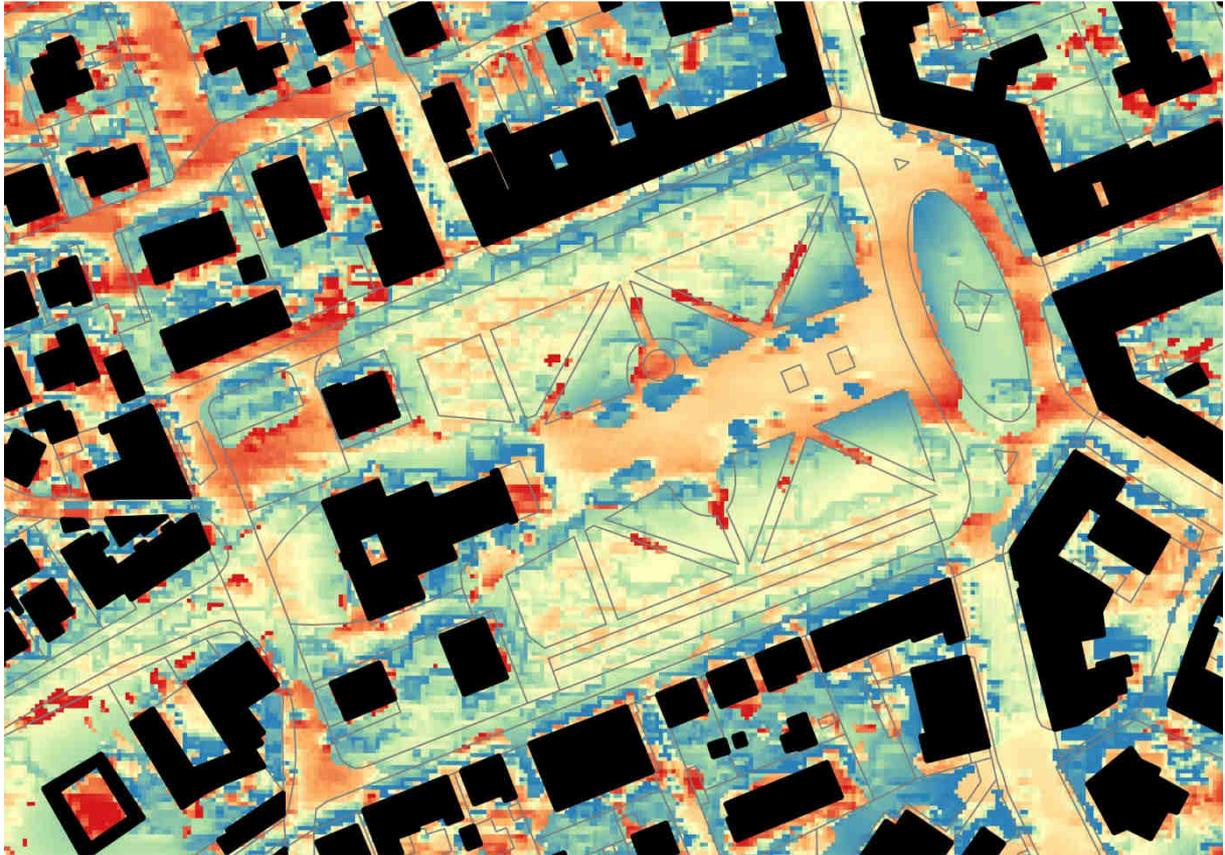


Figure 2.95 – Scénario 2.6

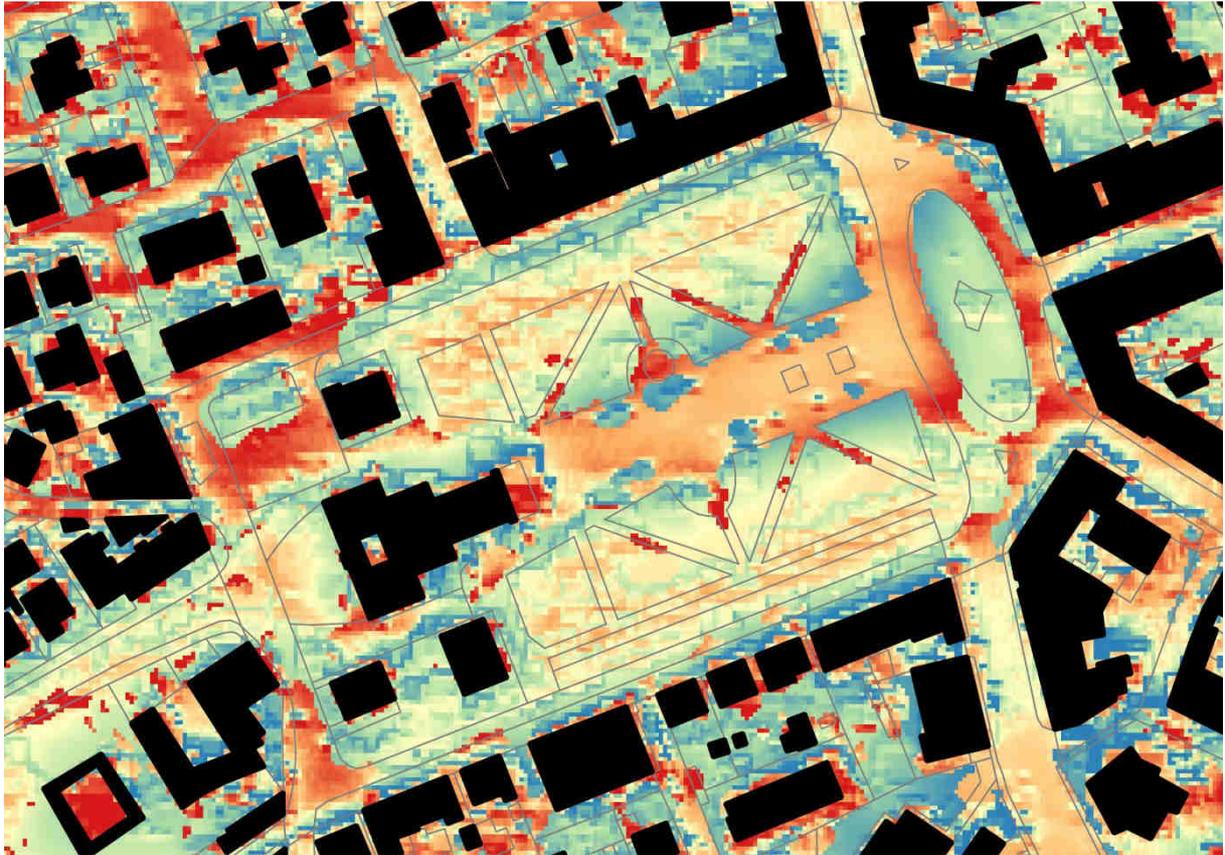


Figure 2.96 –Scénario 4.5

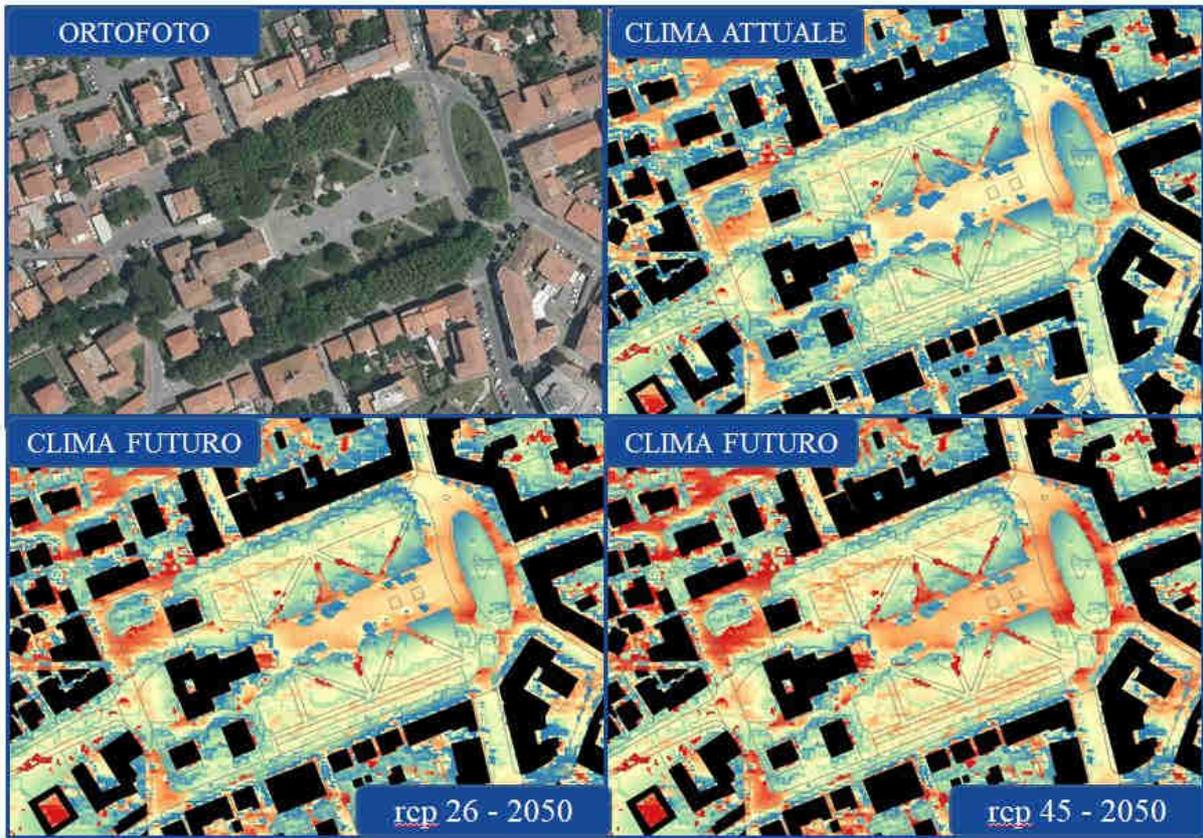


Figure 2.97 –Comparaison actuelle vs futur Piazza Garibaldi



Figure 2.98 –Piazza San Nicola - Rosignano Marittimo

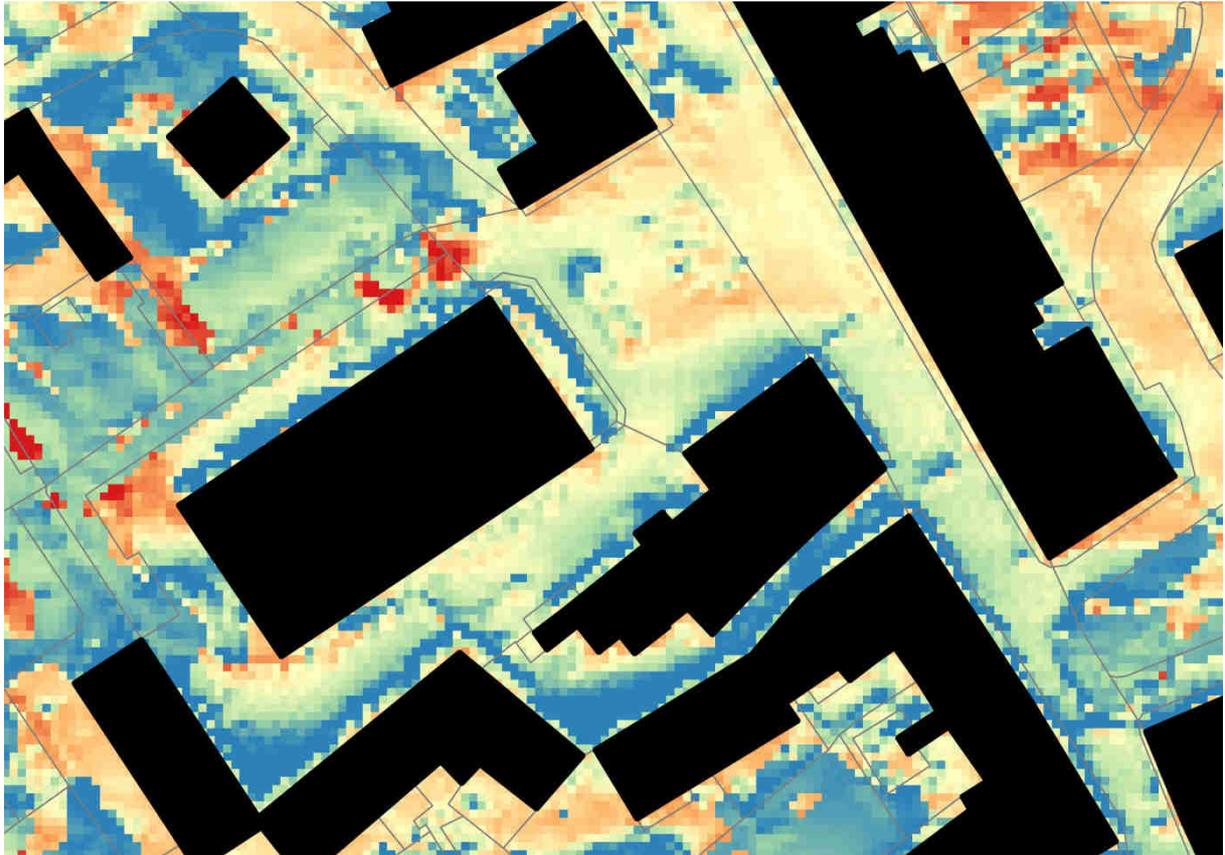


Figure 2.99 –Température actuelle

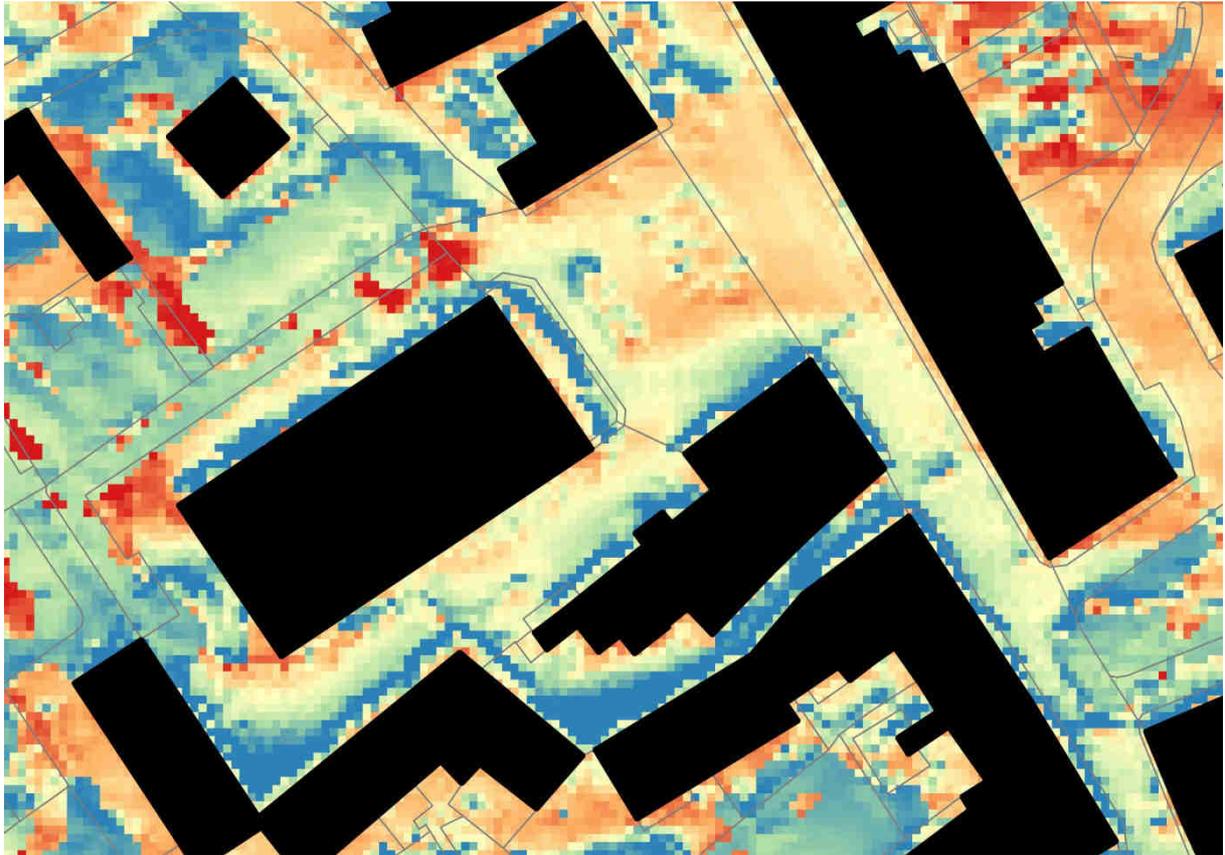


Figure 2 100 –Scénario 2.6

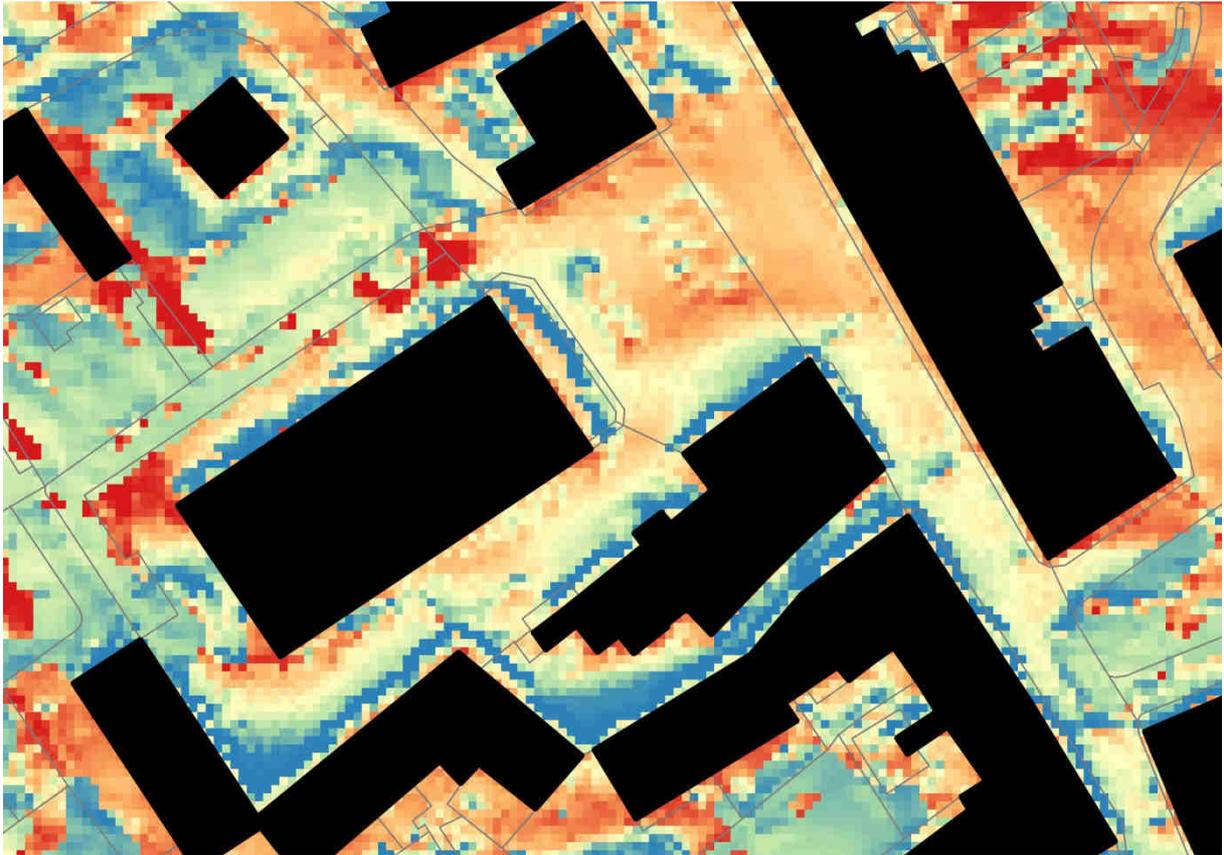


Figure 2 101 –Scénario 4.5

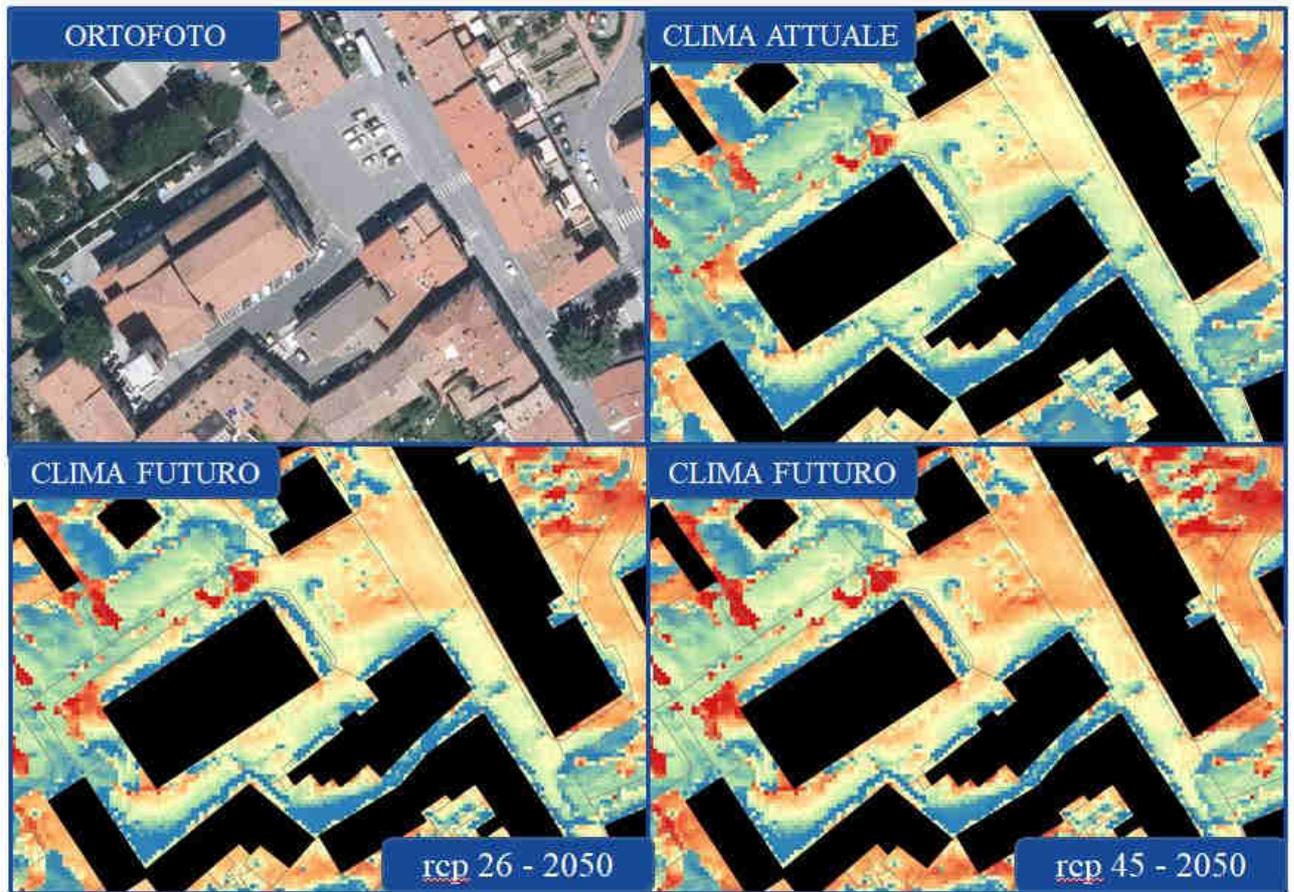


Figure 2.102 –Comparaison actuelle vs futur Piazza San Nicola

GLOSSAIRE

ADAPTATION

Le processus d'adaptation au climat actuel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à limiter les dommages ou à exploiter les opportunités favorables. Dans les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat prévu et à ses effets.

ALBÉDO

Quantité d'énergie solaire incidente réfléchie par une surface. La valeur de l'albédo peut être comprise entre 0 et 1 (corps reflétant toute l'énergie incidente).

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les changements du climat de la Terre, en particulier l'augmentation progressive de la température causée par des niveaux élevés de dioxyde de carbone et d'autres gaz. On enregistre et on teste statistiquement les changements des valeurs moyennes et de la variabilité des principales caractéristiques de l'état climatique qui persistent dans le temps pendant une période suffisamment longue, généralement plus de quelques décennies.

CONFORT THERMIQUE

L'état de bien-être physique et mental par rapport au milieu thermal environnant.

DSM

Voir « Modèle numérique terrestre »

EMISSIVITÉ

La capacité d'un matériau à émettre de l'énergie par rayonnement en fonction de sa température. Dans les lois du corps noir (loi de Stefan-Boltzman) $q = \delta \cdot \epsilon$ et où q est l'énergie émise par le corps (W), δ est la constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$), et ϵ est l'émissivité du corps.

EXPOSITION

L'exposition au risque naturel peut être représentée par la vulnérabilité de la population sensible : enfants ou personnes âgées (plus de 65 ans) résultant de la fréquentation des lieux publics.

IMPACTS

Les effets sur les systèmes naturels et humains.

ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Un phénomène caractéristique des zones urbaines, où les températures sont plus élevées que dans les zones rurales environnantes. Ce phénomène, qui se manifeste surtout dans les centres-villes en raison de la plus grande densité des bâtiments et du trafic automobile, est dû à la fois à la production de chaleur pour le chauffage, la climatisation du trafic, etc. et (surtout en été) à l'absorption plus élevée de l'énergie solaire.

LANDSAT 8

Satellite américain d'observation de la Terre lancé le 11 février 2013, qui acquiert des données tous les 15 jours. Il s'agit de systèmes multispectraux qui mesurent la réflexion/émission du rayonnement dans différentes gammes de longueurs d'onde (λ), tant dans le visible que dans l'infrarouge. Chaque intervalle est appelé une bande : plus le nombre de bandes est grand, plus la possibilité de reconnaître les différences de réflectance est grande ; il faut alors distinguer les différentes zones, jusqu'à reconstruire la signature spectrale et reconnaître le type de surface.

LIDAR

Technique de télédétection qui utilise le laser pour échantillonner la surface de la terre, produisant des mesures extrêmement précises.

MODÈLES CLIMATIQUES

Les modèles climatiques sont l'outil le plus avancé dont on dispose pour modéliser le système climatique dans son état actuel, pour simuler les réactions aux changements, pour faire des prévisions à court terme à l'échelle saisonnière ou décennale et pour supposer des projections climatiques à long terme.

INDICE DE VÉGÉTATION PAR DIFFÉRENCE NORMALISÉE

Indicateur graphique utilisé pour identifier la couverture de la végétation vivante à partir d'images de télédétection.

IVDN

Voir « Indice de végétation par différence normalisée »

CARTOGRAPHIE DU CONFORT THERMIQUE

Les cartes de confort se réfèrent à un environnement urbain à l'échelle du quartier et visent à aider à prévoir et à évaluer les conditions bioclimatiques, l'utilisation de l'espace et l'influence de l'aménagement urbain en : se concentrant sur l'analyse spatiale des zones de confort thermique à l'intérieur du site, en facilitant la comparaison des conditions de confort thermique entre différents sites, la possibilité de comparer les conditions de confort thermique entre différents concepts d'aménagement, l'élaboration d'informations sur la relation étroite entre le confort thermique et l'utilisation de l'espace.

MICROCLIMAT

Terme avec lequel on identifie l'étude des variables climatiques se rapportant à une portion d'espace clos. Contrairement au climat, qui décrit les phénomènes affectant le globe et de grandes portions de territoire. Le microclimat est décrit avec les paramètres environnementaux suivants : température de l'air, humidité relative, humidité absolue, vitesse de l'air, température radiante moyenne. Le terme microclimat peut se référer à des environnements intérieurs et extérieurs.

En urbanisme, le microclimat désigne les conditions climatiques dans une partie d'une ville ou d'un territoire, dont les paramètres environnementaux sont fortement influencés par la morphologie urbaine.

MESURES ADAPTATIVES

Stratégies et solutions en réponse au réchauffement de la planète (également connu sous le nom de « changement climatique »), qui vise à réduire la vulnérabilité des systèmes sociaux et biologiques aux changements relativement soudains et à compenser ainsi les effets du réchauffement de la planète.

MODÈLE NUMÉRIQUE TERRESTRE

Un modèle qui décrit l'évolution de la surface de la terre en tenant compte des objets qui s'y trouvent (bâtiments, arbres, autres artefacts).

MORPHOLOGIE URBAINE

C'est l'étude de la forme de la ville en relation avec les caractéristiques du site, les facteurs historiques, les facteurs socio-économiques et les bâtiments et espaces qui la constituent. Il met en évidence les composantes structurelles et la manière dont les décomptes sont agrégés. Elle est souvent liée au type de bâtiment et au microclimat urbain.

OMBRAGE SOLAIRE

Zones sombres projetées sur une surface par un corps qui s'interpose entre la surface et une source de lumière, empêchant le passage de la lumière. En raison d'une configuration morphologique urbaine particulière.

VAGUES DE CHALEUR

Les vagues de chaleur sont des conditions météorologiques extrêmes qui se produisent pendant la saison estivale, caractérisées par des températures élevées, supérieures aux valeurs habituelles, qui peuvent durer des jours ou des semaines.

POPULATION VULNÉRABLE

Les groupes de population les plus exposés à la chaleur, en particulier les enfants et les personnes âgées de plus de 65 ans.

PROFIL CLIMATIQUE LOCAL

Principal outil pour l'analyse de la variabilité climatique et l'élaboration ultérieure de mesures d'adaptation pour la ville. Son objectif est de fournir une connaissance du territoire du point de vue de ses vulnérabilités liées au changement climatique et des projections pour les prochaines décennies, en mettant en évidence les risques et les opportunités de résilience.

RAYONNEMENT

Rapport entre l'énergie radiante par unité de temps (due à la réception du rayonnement solaire) affectant une surface (quelle que soit son inclinaison et son orientation) et la surface de la surface elle-même.

RAYONNEMENT SOLAIRE DIFFUS

Rayonnement mesuré sur un plan horizontal qui atteint le sol non pas directement du Soleil mais de l'atmosphère (gaz, nuages, etc.)

RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT

Rayonnement provenant directement du Soleil.

RAYONNEMENT SOLAIRE GLOBAL

Rayonnement généré par la réception de la lumière du soleil sur tout l'hémisphère au-dessus du plan. Il est égal à la réception du rayonnement solaire direct et diffus sur un plan

horizontal, tandis que dans le cas de plans inclinés, une partie du rayonnement solaire réfléchi par le sol est également reçue.

RAYONNEMENT SOLAIRE RÉFLÉCHI

Rayonnement réfléchi par une surface.

RASTER

Image composée d'une grille de points appelés pixels, de forme carrée. Chaque pixel possède certaines informations de couleur qui, ensemble, créent une certaine image.

DÉTECTION À DISTANCE

Voir « Télédétection »

RÉSILIENCE

La capacité d'un système socio-écologique à faire face à un événement dangereux, ou à des anomalies, en réagissant ou en se réorganisant de manière à préserver ses fonctions essentielles, son identité et sa structure, tout en maintenant sa capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.

RISQUE

Le risque naturel en cas de changement climatique dans les établissements est défini comme l'augmentation des températures extrêmes, en particulier dans les espaces publics urbains.

SCÉNARIOS DES ÉMISSIONS

Les scénarios de changements climatiques futurs qui dépendent des concentrations futures de gaz à effet de serre et donc, dans une large mesure, des décisions gouvernementales sur les politiques de réduction des émissions. Ces scénarios, connus sous le nom de voies de concentration représentatives (RCP), sont au nombre de quatre selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC).

RÉFLEXION

La capacité d'un matériau à réfléchir le rayonnement solaire.

RÉFLECTANCE SOLAIRE

La fraction du rayonnement solaire incident qui est directement réfléchi par une surface irradiée ; sa valeur varie de 0, pour une surface totalement absorbante, jusqu'à 1 (ou 100%), pour une surface parfaitement réfléchissante.

C'est une caractéristique importante pour limiter l'apport solaire estival à travers l'enveloppe du bâtiment, avec la construction de ce que l'on appelle des « toits froids ».

TÉLÉDÉTECTION

Discipline technico-scientifique qui permet d'obtenir des informations, qualitatives et quantitatives, sur l'environnement et sur les objets placés à distance d'un capteur par le biais de mesures du rayonnement électromagnétique (émis, réfléchi ou transmis) qui interagit avec les surfaces physiques d'intérêt. Utiliser des photos ou des données numériques provenant d'avions, de satellites, de drones ou de sondes spatiales pour caractériser la surface de la terre.

TEMPÉRATURE DE L'AIR

Température de l'air extérieur, exprimée en °C et obtenue à partir de stations météorologiques.

TEMPÉRATURE MAXIMALE

Les températures maximales indiquent les valeurs de température les plus élevées sur une période donnée.

TEMPÉRATURE MOYENNE

Les températures moyennes indiquent les valeurs moyennes des températures sur une période donnée.

TEMPÉRATURE MINIMALE

Les températures minimales indiquent les valeurs de température les plus basses atteintes dans une plage de.

TEMPÉRATURE DE SURFACE DE LA TERRE

Température du sol dérivée du rayonnement solaire. Elle montre à quel point la surface de la Terre est chaude au toucher dans une zone particulière.

TERRITOIRE URBANISÉ

Constitué des centres historiques, des zones construites avec la continuité des lots pour le résidentiel, l'industriel et l'artisanal, le commercial, la gestion, le service, l'hébergement

touristique, les équipements et les services, les parcs urbains, les systèmes technologiques, les lots et les espaces non utilisés intercalés avec les travaux d'urbanisation primaire.

HUMIDITÉ RELATIVE

Rapport entre la pression de vapeur de l'air humide et la pression de vapeur qu'il aurait s'il était dans des conditions de saturation.

VARIABILITÉ CLIMATIQUE

L'alternance de situations climatiques différentes et contrastées (variables) sur un territoire donné (au niveau local, régional, continental, hémisphérique ou mondial) du point de vue d'un ou plusieurs paramètres climatiques de référence (température de l'air, précipitations, etc.) et qui inversent, plus ou moins rapidement, leur tendance caractéristique dans une succession pseudo-aléatoire de conditions climatiques supérieures aux moyennes climatiques calculées au-delà de la période de référence classique (30 ans) propre à la définition du climat.

VERT PUBLIC

Le poumon vert des villes. Des portions du tissu urbain dominées par la végétation, parfois équipées.

VULNERABILITÉ

Propension ou prédisposition d'un système à être altéré négativement. Elle comprend une variété de concepts et d'éléments tels que la sensibilité au danger et l'incapacité à faire face et à s'adapter.

WORDLCLIM

Ensemble de couches climatiques globales (données climatiques de grille) avec une résolution spatiale d'environ 1 . Données utilisées pour la cartographie et la modélisation spatiales.

BIBLIOGRAPHIE

- Acero, J. A., & Arrizabalaga, J. (2018). Évaluation de la performance du modèle ENVI-met dans les cycles diurnes pour différentes conditions météorologiques. *Theoretical and applied climatology*, 131(1-2), 455-469.
- Aina, Y. A. (2017). Réaliser des villes intelligentes et durables avec l'appui de GeoICT : Les villes intelligentes en évolution en Arabie Saoudite. *Villes*, 71, 49-58.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. et Smith, M. (1998). Évapotranspiration des cultures-Lignes directrices pour le calcul des besoins en eau des cultures-FAO Irrigation et papier de drainage 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Anderson, B. G., et Bell, M. L. (2009). Mortalité liée aux conditions météorologiques : comment la chaleur, le froid et les vagues de chaleur affectent la mortalité aux États-Unis. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 20(2), 205.
- Artis, D. A., et Carnahan, W. H. (1982). Enquête sur la variabilité de l'émissivité dans la thermographie des zones urbaines. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329.
- Bhandari, A. K., Kumar, A. et Singh, G. K. (2012). Extraction de caractéristiques à l'aide de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) : Une étude de cas de la ville de Jabalpur. *Procedia technology*, 6, 612-621.
- Benestad, R. E., Hanssen-Bauer, I. et Chen, D. (2008). Réduction d'échelle empirique-statistique. *Société mondiale d'édition scientifique*.
- Bonafoni, S., Anniballe, R., Gioli, B. et Toscano, P. (2016). Réduction de la température de la surface des sols dans la zone urbaine de Florence. *European Journal of Remote Sensing*, 49(1), 553-569.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. et Pullin, A. S. (2010). Le verdissage urbain pour rafraîchir les villes : Un examen systématique des preuves empiriques. *Paysage et urbanisme*, 97(3), 147-155.
- Bruse M (2014) ENVI-met [4.http://www.envi-met.info](http://www.envi-met.info). *Build Energy Res*;2:95-121.
- Chun, B., et Guldman, J. M. (2014). Analyse statistique spatiale et simulation de l'îlot de chaleur urbain dans les villes centrales à forte densité. *Paysage et urbanisme*, 125, 76-88.
- Crichton D. Le triangle des risques. In : Ingleton J, rédacteur en chef. *Gestion des catastrophes naturelles*. Londres : Tudor Rose ; 1999. p. 102-103.
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., De'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K. et Atkinson, R. (2010). L'impact des vagues de chaleur sur la mortalité dans 9 villes européennes : résultats du projet EuroHEAT. *Santé environnementale*, 9(1), 37.
- Dousset, B., et Gourmelon, F. (2003). Analyse des données satellitaires multi-capteurs des températures de surface et de la couverture terrestre en milieu urbain. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(1-2), 43-54.
- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Shevliakova, E., ... & Krasting, J. P. (2012). Les modèles couplés climat-carbone du système

- terrestre du GFDL. Partie I : Caractéristiques de la formulation physique et de la simulation de base. *Journal of Climate*, 25(19), 6646-6665.
- Felicísimo Pérez, Á. M., et Martín-Tardío, M. Á. (2018). Une méthode de réduction d'échelle des cartes de température basée sur l'analyse de l'ombrage des collines pour utilisation dans la modélisation de la distribution des espèces. *Cartographie et science de l'information géographique*, 45(4), 329-338.
 - George, A. D., Thompson III, F. R. et Faaborg, J. (2015). Utilisation du LiDAR et des enregistreurs de microclimat à distance pour réduire les températures de l'air près de la surface pour les études au niveau du site. *Remote Sensing Letters*, 6(12), 924-932.
 - Giles, B. D., Balafoutis, C. et Maheras, P. (1990). Trop chaud pour le confort : les vagues de chaleur en Grèce en 1987 et 1988. *International Journal of Biometeorology*, 34(2), 98-104.
 - Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S. et Kahle, A. B. (1998). Un algorithme de séparation de la température et de l'émissivité pour les images du radiomètre spatial avancé à émission et réflexion thermiques (ASTER). *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1113-1126.
 - Gobeawan, L., Lin, E.S., Tandon, A., Yee, A.T.K., Khoo, V.H.S., Teo, S.N., ... & Cheng, P. (2018). MODÉLISATION D'ARBRES POUR SINGAPOUR VIRTUEL : DE L'ACQUISITION DE DONNÉES AUX MODÈLES DE VILLE. *Archives internationales de la photogrammétrie, de la télédétection et des sciences de l'information spatiale*, 42.
 - Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X. et Zhang, X. (2015). Impacts de la composition biophysique urbaine sur la température de la surface terrestre dans les îlots de chaleur urbains. *Paysage et urbanisme*, 135, 1-10.
 - Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. et Jarvis, A. (2005). Surfaces climatiques interpolées à très haute résolution pour les zones terrestres mondiales. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978.
 - Hofierka, J., et Kaňuk, J. (2009). Évaluation du potentiel photovoltaïque en milieu urbain à l'aide d'outils de rayonnement solaire à source ouverte. *Énergie renouvelable*, 34(10), 2206-2214.
 - Honjo, T. (2009). Confort thermique en milieu extérieur. *Global environmental research*, 13(2009), 43-47.
 - Isaya Ndossi, M., et Avdan, U. (2016). Application des technologies de codage libre dans la production de cartes de température de surface terrestre (TSL) à partir de Landsat : un plugiciel PyQGIS. *Télédétection*, 8(5), 413.
 - Jamei, E., et Rajagopalan, P. (2018). Effet de la conception de la rue sur le confort thermique des piétons. *Architectural Science Review*, 1-20.
 - Jayaraj, P., et Ramiya, A. M. (2018). MODÉLISATION 3D DES BÂTIMENTS DE LA VILLE À PARTIR DE DONNÉES DE NUAGES DE POINTS LIDAR. *Archives internationales de la photogrammétrie, de la télédétection et des sciences de l'information spatiale*.
 - Kokalj, Ž., Zakšek, K., & Oštir, K. (2011). Application du facteur de vue du ciel pour la visualisation des éléments historiques du paysage dans les modèles de relief dérivés du lidar. *Antiquité*, 85(327), 263-273.

- Konijnendijk, C. C. (2003). Une décennie de foresterie urbaine en Europe. *Forest policy and Economics*, 5(2), 173-186.
- Köppen W : *Das Geographische System der Klimate (Le système géographique des climats)*. Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C. Edité par : Köppen W, Geiger R. 1936, Borntraeger, Berlin.
- Kruse, P. W., McGlauchlin, L. D., & McQuistan, R. B. (1962). *Éléments de la technologie infrarouge : Génération, transmission et détection*. New York : Wiley, 1962.
- Kyle, W.J. (1994, août). Le bioclimat humain de Hong Kong. Dans les Actes de la Conférence sur la climatologie contemporaine, Brno. TISK LITERA, Brno (p. 345-350). *Météorologie*, 16(1), 11-19.
- Lam, C. K. C., Loughnan, M. et Tapper, N. (2018). Perception du confort thermique par les visiteurs lors des épisodes de chaleur extrême au Royal Botanic Garden Melbourne. *International journal of biometeorology*, 62(1), 97-112.
- Lamarca, C., Qüense, J., & Henriquez, C. (2018). Confort thermique et morphologie des canyons urbains en climat tempéré côtier, Concepción, Chili. *Urban Climate*, 23, 159-172.
- Lam, C. K. C., Loughnan, M. et Tapper, N. (2018). Perception du confort thermique par les visiteurs lors des épisodes de chaleur extrême au Royal Botanic Garden Melbourne. *International journal of biometeorology*, 62(1), 97-112.
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... & Sobrino, J. A. (2013). Température de surface terrestre dérivée du satellite : Situation actuelle et perspectives. *Téledétection de l'environnement*, 131, 14-37.
- Lindley SJ, Handley JF, Theuray N, Peet E, Mcevoy D. Stratégies d'adaptation aux changements climatiques en milieu urbain : Évaluation des risques liés au changement climatique dans les zones urbaines du Royaume-Uni. *J Risk Res.* 2006 ; 9 : 543–568.
- Maimaitiyiming, Matthew & Sagan, Vasit & Tiyp, Tashpolat & Pla, Filiberto & Carmona, Pedro & Halik, Ümüt & Sawut, Mamat & Caetano, Mário. (2014). Effets de la configuration spatiale des espaces verts sur la température de la surface terrestre : Implications pour la planification urbaine durable et l'adaptation au changement climatique. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 89. 59-66.
- Mamassis, N., Efstratiadis, A., & Apostolidou, I.-G. (2012). Indices de rayonnement solaire ajustés à la topographie et leur importance en hydrologie. *Journal des sciences hydrologiques*, 57(4), 756-775. doi:10.1080/02626667.2012.670703
- Mirzaei, P.A. (2015). Défis récents dans la modélisation de l'îlot de chaleur urbain. *Villes et société durables*, 19, 200-206.
- Mitsova, H., et Neteler, M. (2008). *GIS open source : une approche GIS GRASS*. Springer.
- Myrup, L.O. (1969). Un modèle numérique de l'îlot de chaleur urbain. *Journal of Applied Meteorology*, 8(6), 908- 918.
- Mondino, G. P., et Bernetti, G. (1998). *Bois et parcelles de la Toscane. Les types de forêts. Région Toscane, Conseil régional. Éditions Région Toscane, Florence.*

- Morabito, M., Crisci, A., Gioli, B., Gualtieri, G., Toscano, P., Di Stefano, V., ... & Gensini, G. F. (2015). Analyse des risques urbains : cartographie des risques liés à la chaleur chez les personnes âgées dans les grandes villes italiennes. *PLoS one*, 10(5), e0127277
- Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L., et Rodrigues, D. S. (2018). THIS–Outil pour la simulation des îlots de chaleur : Un modèle d'extension GIS pour calculer l'intensité des îlots de chaleur urbains en fonction de la géométrie urbaine. *Ordinateurs, environnement et systèmes urbains*, 67, 157-168.
- Nguyen, H. T., et Pearce, J. M. (2012). Intégration des pertes d'ombrage dans l'évaluation du potentiel solaire photovoltaïque à l'échelle municipale. *Solar Energy*, 86(5), 1245-1260.
- Nunez, M., et Oke, T. R. (1977). Le bilan énergétique d'un canyon urbain. *Journal of Applied*
- Oke, T.R. (1976). La distinction entre la canopée et les îlots de chaleur urbains de la couche limite. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.
- Oke, T.R. (1973). La taille de la ville et l'îlot de chaleur urbain. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
- Oke, T.R. (1982). La base énergétique de l'îlot de chaleur urbain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke, T.R. (1988). Le bilan énergétique urbain. *Progrès en géographie physique*, 12(4), 471-508.
- Page, J. (1986). *Prévision du rayonnement solaire sur des surfaces inclinées*. Dordrecht : Reidel.
- Rajeshwari, A., et Mani, N. D. (2014). Estimation de la température de la surface terrestre du district de Dindigul à l'aide de données Landsat 8. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.
- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y., & Chunho, L.I. U. (2008). Un examen sur la détermination de la^{production} et l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.
- Rodgers, J. C., Murrah, A. W. et Cooke, W. H. (2009). L'impact de l'ouragan Katrina sur la végétation côtière de la réserve de Weeks Bay, Alabama, d'après les données de l'IVDN. *Estuaires et côtes*, 32(3), 496-507.
- Roth, M., Oke, T. R. et Emery, W. J. (1989). Les îlots de chaleur urbains dérivés de satellites de trois villes côtières et l'utilisation de ces données en climatologie urbaine. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), 1699-1720.
- Rozbicki, T., & Golaszewski, D. (2003, septembre). Analyse des changements climatiques locaux à Ursynów dans la période 1960-1991 en raison du développement des lotissements. In *Proc. 5e Int. Conf. climat urbain* (Vol. 2, p. 455-458).
- Sferlazza, S., La Mela Veca, D., Miozzo, M., Fantoni, I., & Maetzke, F. (2017). Lignes directrices pour l'évaluation de la résilience des forêts méditerranéennes au changement climatique.
- Sinha, S., Pandey, P. C., Sharma, L. K., Nathawat, M. S., Kumar, P. et Kanga, S. (2014). Estimation à distance de la température de la surface terrestre pour différentes caractéristiques LULC d'une région de forêt tropicale humide à feuilles

- caduques. Dans Applications de la télédétection à la recherche environnementale (p. 57-68). Springer, Cham.
- Scarano, M., et Sobrino, J. A. (2015). Sur la relation entre le facteur de vue du ciel et la température de la surface terrestre dérivée par les images Landsat-8 à Bari, Italie. *International Journal of Remote Sensing*, 36(19-20), 4820-4835.
 - Tan, Z., Lau, K. K. L., & Ng, E. (2016). Approches de conception d'arbres urbains pour atténuer les effets de l'îlot de chaleur urbain diurne dans un environnement urbain à forte densité. *Énergie et bâtiments*, 114, 265-274.
 - Thom, E.C. (1959). L'indice d'inconfort. *Weatherwise*, 12(2), 57-61.
 - Thorsson, S., Lindberg, F., Eliasson, I. et Holmer, B. (2007). Différentes méthodes d'estimation de la température radiante moyenne dans un environnement urbain extérieur. *International Journal of Climatology*, 27(14), 1983-1993.
 - Trzaska, S. et Schnarr, E. (2014) A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections : Résilience de l'Afrique et de l'Amérique latine aux changements climatiques (ARCC).
 - Vandegriend, A. A., Owe, M., Vugts, H. F. et Ramothwa, G. K. (1992). Programme de recherche du Botswana sur le bilan de l'eau et de l'énergie de surface. Partie 1 : Approche intégrée et résultats des campagnes sur le terrain.
 - Voogt, J. A. (2004). Les îlots de chaleur urbains : des villes plus chaudes.
 - Weng, Q., Lu, D. et Schubring, J. (2004). Estimation de la relation entre la température de la surface terrestre et l'abondance de la végétation pour les études sur les îlots de chaleur urbains. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
 - Yu, X., Guo, X. et Wu, Z. (2014). Récupération de la température de la surface terrestre à partir de Landsat 8 TIRS-Comparaison entre la méthode basée sur l'équation de transfert radiatif, l'algorithme de la fenêtre divisée et la méthode à canal unique. *Télédétection*, 6(10), 9829-9852.76
 - Yuan, F., et Bauer, M. E. (2007). Comparaison de la surface imperméable et de l'indice de végétation de différence normalisée comme indicateurs des effets d'îlot thermique urbain de surface dans l'imagerie Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
 - Zhao, C., Jensen, J., Weng, Q. et Weaver, R. (2018). Une analyse de régression pondérée géographiquement des facteurs sous-jacents liés au phénomène des îlots de chaleur urbains de surface. *Télédétection*, 10(9), 1428
 - Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., & Pauleit, S. (2016). Utiliser des infrastructures vertes pour la protection du climat urbain : Une évaluation des mesures d'atténuation de la chaleur à l'échelle micro. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305-316.

SITOGRAPHIE

- <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>
- <http://www.sir.toscana.it/ricerca-dati>

- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- <http://www.worldclim.org/>
- <https://qgis.org/en/site/about/index.html>
- <http://qgis1stplugin.blogspot.com/>
- <https://geogeek.xyz/how-to-calculate-land-surface-temperature-with-landsat-8-images.html>
- <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
- <http://normelombardia.consiglio.regione.lombardia.it/NormeLombardia/Accessibile/main.aspx?view=showdoc&iddoc=lr002005031100012>