IRIS AperTO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Les tendances et les indices de changement climatique des séries historique dans le Nord-Ouest de l'Italie

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available http://hdl.handle.net/2318/80391 since

Publisher:

COSTEL, 2010

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

10 October 2026

LES TENDANCES ET LES INDICES DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DES SÉRIES HISTORIQUES DANS LE NORD-OUEST DE L'ITALIE

FRATIANNI S. et ACQUAOTTA F.

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino, via Valperga Caluso 35 - 10125, Torino, Italia.
fiorella.acquaotta@unito.it ; simona.fratianni@unito.it

Résumé : *Dans cette étude, les valeurs journalières de trois paramètres climatiques différents (Températures maximales, minimales et précipitations) de plusieurs stations météorologiques ont été analysées pour quantifier les tendances climatiques et les changements climatiques au cours du XXème siècle dans le nord-ouest de l'Italie. Afin d'étudier correctement ces variations, des séries homogènes sont nécessaires. Pour résoudre ce problème important, une recherche historique a été menée et par la suite la méthode HOM a été appliquée pour obtenir la série journalière homogène sur laquelle les tendances ont été calculées. Après avoir subi de rigoureuses procédures de contrôle de qualité et une évaluation de l'homogénéité, les données ont été utilisées pour calculer les indices de changement climatique. Afin de mieux comprendre le changement climatique, nous avons effectué l'analyse spectrale pour identifier les tendances cycliques des données.*

Mots-clés : *température, précipitations, changement climatique, indices climatiques*.

Abstract: *Climate trends and climate change signals in historical series of North West Italy*
Daily values of maximum and minimum temperature and precipitation for 9 weather stations located in North West Italy were analyzed to assess trends and climate change over the 1937-2008 period. This study required homogeneous series. To resolve this issue, a historical research was carried out and then the HOM method was applied on daily series for which linear trends were calculated. After severe quality control procedures and the assessment of homogeneity, series were used to calculate climate indices. To better understand climate change, a spectral analysis was performed to identify cycles in the precipitation series.

Keywords: *Temperature, precipitation, climate change, climate indices*

Introduction

Une analyse climatique correcte requiert l'utilisation de séries météorologiques complètes et homogènes (Moberg *et al.*, 2005). A cause de ces difficultés, beaucoup de travaux à l'échelle globale (Peterson *et al.*, 1997) et nationale (Buffoni *et al*., 1999) traitent des variations des températures et des précipitations en mettant en évidence seulement les changements moyens qui se sont produits au cours du XXème siècle.

Bien qu'ils mettent en lumière des aspects importants, de tels travaux ne révèlent pas de façon détaillée les changements subis par les variables au cours du temps. Le manque d'études approfondis est dû essentiellement à la présence insuffisante de séries journalières complètes et homogènes, qui sont disponibles seulement dans certaines régions. La région du Piémont représente une exception en ce sens, car elle vante la naissance de nombreux observatoires météorologiques sur son territoire, avec une bonne continuité d'enregistrement des mesures depuis le début du XXème siècle.

La bonne disponibilité de données climatologiques dans la région du Piémont a permis d'analyser l'évolution réelle des températures maximales et minimales ainsi que celle des précipitations, même par l'utilisation d'indices climatiques. Aussi, ce travail ne se limite pas à analyser les variations moyennes des variables mais il analyse également les valeurs extrêmes, en permettant de mieux comprendre leur évolution réelle pendant les cent dernières années.

Finalement, pour mettre en évidence les cyclicités qui sont présentes dans les séries des précipitations, une analyse spectrale a été appliquée, en considérant comme niveau de signification le seuil de 95% et en permettant de déterminer les périodicités présentes dans les précipitations cumulées.

1. Méthodologie

L'analyse des séries journalières de température maximale et minimale et de précipitations a été effectuée sur neuf stations météorologiques piémontaises qui ont mesuré les variables pendant 72 ans, de 1937 à 2008 (Fig. 1). Pour chaque station météorologique on a procédé à une recherche historique minutieuse qui a permis de combler les lacunes dans les séries. La recherche a été effectuée en consultant les informations sur les stations conservées aux archives de ARPA (Agenzia Regionale per le Protezione Ambientale), Piémont et les annales du Service Hydrographique National. Sur les séries journalières complètes, un contrôle approfondi de la qualité a été appliqué, en utilisant le logiciel RClimdex (Zhang et al., 2004).

Figure 1 : Localisation et altitude des stations météorologiques piémontaises analysées**.**

Cette procédure a permis d'identifier les métadonnées, les années au cours desquelles s'est produit un changement d'instrumentation ou de position de la station.

Pour homogénéiser les séries journalières de température maximale et minimale, le test statistique HOM (Della Marta et Wanner, 2006) a été appliqué. Cette méthode utilise un modèle non linéaire pour estimer la relation entre la série à tester et la série de référence sélectionnée entre stations voisines, avec le meilleur coefficient de corrélation.

La relation entre la série à tester et la série de référence permet de calculer les facteurs de correction qui seront appliqués sur les périodes inhomogènes dont il convient de corriger les discontinuités. La série de précipitation dont les métadonnées ne sont pas encore développées est vérifiée par un test qui permet d'homogénéiser les données quotidiennes, sans modifier la variable de progrès, en raison de son caractère aléatoire (Moberg *et al*., 2005). Pour cette raison, la continuité de la série a été évaluée par l'observation des tendances des précipitations annuelles et vérification de la présence des discontinuités probables (Wijngarard *et al*., 2003).

Sur les séries correctes, les indices climatiques développés par l'équipe d'experts sur le *Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI, 2003) ont été calculés afin de mieux caractériser et comprendre le changement climatique produit dans plusieurs endroits. Sur les séries de températures maximales et minimales les indices suivants sont calculés à l'échelle mensuelle, saisonnière et annuelle : jours sans dégel (FDO), jours estivaux avec Tmax > 25°C (SU25), jours de gel (IDO), nuits tropicales avec Tmin > 20°C (TR20).

Pour chaque variable météorologique et pour chaque indice climatique, la tendance annuelle est identifiée en utilisant la méthode de la régression linéaire (Brunetti *et al*., 2000) et pour évaluer la significativité statistique le critère de Mann Kendall est appliqué (Sneyers, 1990). Ce test non paramétrique recherche la présence d'une tendance à long terme dans les données. Pour accepter cette tendance il faut évaluer la probabilité, p-valeur, qui exprime la force de la preuve pour ou contre cette hypothèse (la tendance est acceptée avec une p-valeur < 0,05 en considérant le niveau de confiance de 95 %).

Afin de mettre en évidence la nature cyclique dans les séries de précipitations l'analyse spectrale est effectuée avec un niveau de signification de 95% (Turkes *et al*., 2002).

2. Résultats

Pour chaque station météorologique analysée, une recherche historique a permis de trouver les donnés manquantes et de déterminer les changements de position ou d'instrumentation. La recherche a permis de combler la majeure partie des lacunes présentes surtout pendant les années de la Seconde Guerre Mondiale, de 1943 à 1945. En outre, pour chaque série, les métadonnées ont été déterminées. Dans la majeure partie des stations un changement d'instrumentation a été mis en évidence. Dans les années 1940 et 1950 les thermomètres à maximum et minimum ainsi que les pluviomètres ont été remplacés respectivement par les thermographes et par des pluviomètres enregistreurs. Un ultime changement de position et d'instrumentation a été relevé dans les dernières années, causé par le remplacement du vieux filet d'observation géré par le Service Hydrographique National avec le nouveau filet de suivi environnemental géré par l'ARPA de la région du Piémont.

Afin de rendre les séries de température maximale et minimale homogènes et représentatives des véritables variations climatiques, le test statistique HOM a été appliqué. Sur les séries de précipitations les métadonnées n'ont pas répertorié de discontinuités dans l'évolution de la variable, ce qui permet d'utiliser les séries sans recourir à leur homogénéisation (Acquaotta *et al*., 2009).

Des indices climatiques sont calculés sur les séries complètes et homogènes de température et de précipitation. Les stations de plaine, d'altitude inférieure à 1000 m, présentent plus de 50% de journées avec températures maximales supérieures à 25°C pendant les mois d'été (juin, juillet et août). Pendant les mois d'hiver (janvier, février et mars) plus du 50% des journées sont classées comme jours de gel, IDO, alors que seules 2-3 journées au cours des mois de janvier et décembre sont classées comme journées sans dégel, FDO (Tableau 1).

Les précipitations moyennes annuelles approchent 700 mm avec 68 journées pluvieuses (Tableau 1), sauf pour les stations de Biella et de Varallo où on enregistre en moyenne plus de 1200 mm de pluie et 95 journées pluvieuses.

Tableau 1. Indices climatiques calculés au cours de la période considérée, 1937-2008, pour la station d'Alessandria. FDO, Tmax<0°C, SU25, Tmax >25°C, IDO, Tmin <0°C, TR20, Tmin >20°C, TXx, température maximale absolue, TNn, température minimale absolue.

Mois	SU25	FDO	TXx	IDO	TR20	TNn	GGR	PRCPTOT
Janvier	0	2	11.1	21	0	-8.0	6	40.5
Février	0	0	14.6	17	0	-6.6	5	38.5
Mars	0	0	19.7	6	0	-2.5	5	43.1
Avril	1	0	24.3	1	0	0.3	6	54.8
Mai	9	0	29.3	0	0	4.5	6	57.7
Juin	22	0	33.7	0	1	10.3	5	41.0
Juillet	28	0	34.8	0	4	11.6	4	33.2
Août	24	0	33.8	0	3	9.9	4	47.0
Septembre	13	0	30.5	0	0	5.9	5	52.1
Octobre	1	0	24.8	1	0	0.9	7	77.9
Novembre	0	0	17.7	7	0	-2.8	7	74.4
Décembre	0	3	11.5	17	0	-6.8	5	46.6

Dans les stations de montagne (altitude supérieure ou égale à 1000 m.), les températures maximales ont des valeurs supérieures à 25°C seulement pour 1-2 journées pendant les mois de juillet et août. En janvier et décembre sont enregistrées en moyenne 10 journées sans dégel (FDO), et en novembre, décembre, janvier, février et mars on classe plus de 50% des journées comme journées de gel (IDO).

Les précipitations moyennes annuelles dépassent 1200 mm avec 114 journées pluvieuses, sauf pour la station de Oropa où on enregistre un cumul égal à 1990 mm et 110 journées pluvieuses.

Les tendances calculées sur les séries de températures maximales annuelles relèvent une tendance à la hausse, statistiquement significative dans la majorité des stations (Tableau 2). La tendance maximale est égale à +0,037 ±0,009°C/année a été calculée dans la localité de Varallo, alors que la seule station qui admet une tendance négative égale à -0,015 ±0,005°C/an est Alpe Cavalli (Tableau 2).

Les séries des températures minimales annuelles montrent elles aussi, dans la majeure partie des cas, des tendances à la hausse statistiquement significatives (Tableau 2). La valeur maximale égale à +0,037 ±0,005°C/année a été calculée dans la station de Malciaussia (Fig. 2a), alors que la seule station qui présente une diminution est Alessandria avec -0,0026 ±0,006°C/an (Tableau 2).

Aussi les tendances calculées sur les séries des températures maximales et minimales extrêmes, TXx et TNn, des journées sans dégel (FDO), et des journées de gel (IDO), ont mis en évidence l'augmentation graduelle des températures. En effet, dans la majeure partie des cas, sur les séries des TXx et TNn des tendances croissantes ont été calculées, alors que les tendances estimées sur les séries FDO et IDO mettent en évidence une diminution du numéro de jours de gel et sans dégel (Tableau 3).

Dans les stations de Alessandria, Asti, Oropa, Torino et Varallo, les tendances les plus élevées se calculent dans les séries de températures maximales, relevant une augmentation de l'amplitude thermique annuelle. À Alpe Cavalli, Biella et Malciaussia se manifeste une situation opposée, les températures minimales augmentent plus rapidement que les températures maximales, relevant une diminution de l'amplitude thermique annuelle.

Les tendances calculées sur les séries des précipitations annuelles et des journées pluvieuses mettent en évidence une tendance décroissante, commune à la majeure partie des localités analysées (Tableau 2). Malgré cela, les tendances ne sont pas statistiquement significatives sauf dans la station de Lago Toggia, pour la série des précipitations (Fig. 2b), et de Oropa pour la série de journées pluvieuses. Pour les séries pluviométriques la diminution la plus importante se relève dans la station de Varallo avec -4 ±2 mm/an, suivie par Lago Toggia avec -3,1 ±1,5 mm/année, alors que dans la série de journées pluvieuses la tendance la plus élevée est enregistrée dans la station de Oropa avec -0,2 ±0,1 jours/an (Tableau 2).

Tableau 2 : Tendance calculée sur différentes séries : Tmax, température maximale, Tmin, température minimale, GGR, numéro de jours de pluie et PRCPTOT, précipitations cumulées, de 1937 à 2008. La pente de la tendance est indiquée par a ; ±err a est l'erreur estimée sur a ; p_valuer indique le résultat du test de Mann Kendall avec p_valuer<0.05 et < indiquant la tendance statistiquement acceptable.

	Tmax			Tmin			GGR			PRCPTOT		
Stations	a	±err a	P_valeur	a	±err a	p_valeur	a	±err a	p_valeur	a	±err a	p_valeur
Alessandria	0,034	0,007	<	-0,026	0,006	0,001	-0,06	0,07	0,38	-0,2	0,9	0,87
Asti	0,026	0,005	<	0,009	0,005	0,05	-0,14	0,07	0,06	-0,3	0,9	0,52
Torino	0,033	0,005	<	0,012	0,004	<	-0,10	0,08	0,08	0,0	1,3	0,88
Biella	0,020	0,010	0,01	0,031	0,005	<	-0,10	0,10	0,20	-0,6	2,0	0,95
Varallo	0,037	0,009	0,001	0,005	0,007	0,64	-0,10	0,10	0,23	-4,0	2,0	0,13
Oropa	0,036	0,006	<	0,014	0,004	0,0005	-0,20	0,10	0,01	1,0	3,0	0,71
Alpe Cavalli	-0,015	0,005	0,01	0,011	0,004	0,01	0,02	0,07	0,94	1,0	2,0	0,97
Malciaussia	0,030	0,010	0,0001	0,037	0,005	<	0,03	0,07	1,00	-0,8	1,5	0,49
Lago Toggia	0,002	0,005	0,95	0,014	0,005	0,01	-0,12	0,08	0,24	-3,1	1,5	0,04

Ensuite, les cycles ont été calculés sur les séries des précipitations annuelles grâce à l'utilisation de l'analyse spectrale. Seules quatre stations ont été déterminées : la période est de 22 ans à Turin (Fig. 3), 3 ans à Alessandria, 4,4 ans à Asti et 2,3 ans à Lago Toggia.

Tableau 3. Tendance calculée sur différentes séries : TXx, température maximale absolue, TNn, température minimale absolue, FDO, numéro de jours sans dégel et IDO numéro de jours de gel, de 1937 à 2008. a indique la pente de la tendance ; ±err a, l'erreur estimée sur a ; p_valuer indique le résultat du test de Mann Kendall; avec p_valuer<0.05 et < indiquant la tendance statistiquement acceptable.

	TXx			TNn			FDO			IDO		
Stations	a	±err a	p_valeur	a	±err a	p_valeur	a	±err a	p_valeur	a	±err a	p_valeur
Alessandria	0,04	0,01	<	-0,02	0,01	0,08	-0,09	0,03	0,05	0,29	0,11	0,02
Asti	0,04	0,01	<	0,01	0,01	0,52	-0,13	0,03	<	0,07	0,12	0,63
Torino	0,03	0,01	0,001	0,005	0,005	0,71	-0,44	0,06	<	-0,46	0,11	0,0001
Biella	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	<	-0,08	0,04	0,01	-0,23	0,11	0,18
Varallo	0,011	0,013	0,06	0,01	0,01	0,1	-0,15	0,04	<	0,1	0,1	0,59
Oropa	0,04	0,01	<	0,016	0,005	0,1	-0,37	0,07	<	-0,4	0,1	0,0005
Alpe Cavalli	0,006	0,006	0,23	0,012	0,005	0,15	-0,1	0,10	0,17	-0,42	0,1	<
Malciaussia	0,06	0,01	<	0,025	0,007	0,01	-0,3	0,100	0,002	-0,8	0,1	<
Lago Toggia	0,02	0,01	0,12	0,02	0,01	0,02	-0,08	0,09	0,55	-0,4	0,1	<

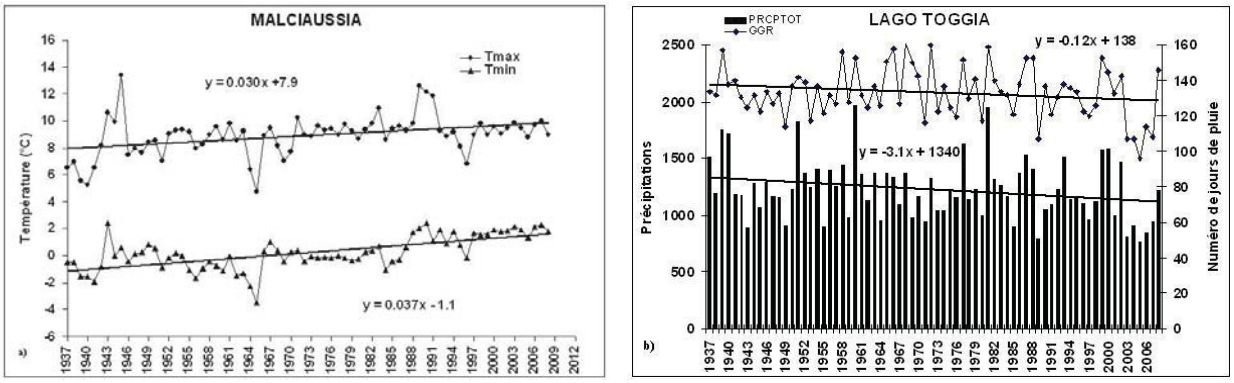

Figure 2 : a) Tendance de la température maximum, Tmax, et de la température minimum, Tmin, pour la station de Malciaussia avec sa tendance calculée sur la période analysée, 1937-2008; b) Tendance des précipitations cumulées, PRCPTOT, et le nombre de jours de pluie, GGR, pour la station de Lago Toggia avec sa tendance calculée sur la période analysée, 1937-2008.

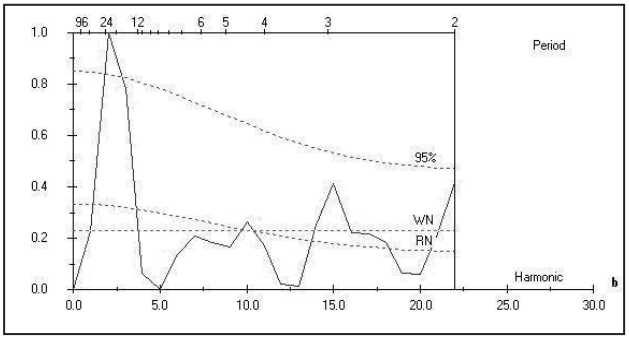

Figure 3 : Cycles identifiés dans les séries des précipitations cumulées pour Torino sur le période 1937-2008.

Conclusion

L'étude réalisée sur les séries de températures maximales et minimales et des précipitations dans la région du Piémont a permis de calculer, à l'échelle stationnelle de différentes localités, les variations climatiques enregistrées au cours des 72 ans dernières années, de 1937 à 2008.

Chaque localité présente ses propres variations climatiques. Cependant, on a pu mettre en évidence un élément commun à presque toutes les stations analysées, à savoir une augmentation graduelle des températures et une diminution des précipitations cumulées.

Les tendances calculées sur les températures maximales et minimales admettent une évolution croissante dans la majeure partie des stations. Les tendances calculées sur les

températures maximales varient entre +0,037 ±0,009°C/an à Varallo et -0,015 ±0,005°C/an à Alpe Cavalli, alors que les températures minimales ont des valeurs entre +0,037 ±0,005°C/an à Malciaussia et -0,026 ±0,006°C/an à Alessandria. L'évolution des températures est aussi confirmée par le comportement des indices climatiques calculés pour chaque variable. Les séries des températures maximales et minimales extrêmes déterminent des tendances croissantes, alors que les séries des journées sans dégel et des journées de gel déterminent des tendances décroissantes.

L'évolution des températures a permis de calculer, dans les stations d'Alessandria, Asti, Turin et Varallo, une augmentation de l'amplitude thermique annuelle, due à une augmentation majeure calculée des températures maximales par rapport aux températures minimales. En revanche, dans les localités de Alpe Cavalli, Biella et Malciaussia une diminution de l'amplitude thermique annuelle apparaît, liée à une augmentation majeure des températures minimales.

Les tendances calculées sur les précipitations cumulées déterminent, dans la majeure partie des stations, des tendances négatives qui changent entre -4 ±2 mm/an à Varallo et -0,2 ±0,9 mm/an à Alessandria, alors que dans les stations de Oropa et de Alpe Cavalli on calcule des tendances croissantes de +1 ±3 mm/an.

Le nombre de journées pluvieuses présente surtout une évolution décroissante, sauf dans les localités de Alpe Cavalli et de Malciaussia. Cependant, les tendances calculées ne sont pas très élevées parce que les valeurs changent entre -0,20 ±0,10 journées/année de Oropa et +0,03 ±0,07 journées/année de Malciaussia.

Finalement, la détermination d'une cyclicité dans les précipitations cumulées a été possible seulement dans quatre localités : Turin, Alessandria, Asti et Lago Toggia.

Bibliographie

Acquaotta F., Fratianni S., Cassardo C., Cremonini R., 2009 : On the continuity and climatic variability of the meteorological stations in Torino, Asti, Vercelli and Oropa. *Meteorological and Atmospheric Physics*, **103**, 279-287.

Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., 2000 : Precipitation intensity trends in Northern Italy. *International Journal of Climatology*, **20**, 1017-1031.

Buffoni L., Maugeri M., & Nanni T., 1999 : Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, **63**, 33-40.

Della-Marta P., Wanner H., 2006 : A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements. *Journal of Climate*, **19**, 4179-4197.

Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), 2003 : CCI/CLIVAR first team meeting report, Zuckerman Inst/Clim. Res. Unit, Aguilar E. Univ., Norwick, UK.

Moberg A., Jones P., 2005 : Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, **25**, 1149-1171.

Peterson T., Vose R., 1997 : An overview of the global historical climatology network temperature data base. *Bull. Am. Meteorol. Soc*., **78**, 2837-2849.

Sneyers R., 1990 : On the statistical analysis of series of observations. World Meteorological Organization, *Technical Note n 143*, Geneva, 192 p.

Turkes M., Sumer U., Kihc G., 2002 : Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 hPa geopotential heights. *Climate Research,* **21**, 59-81.

Zhang X., Yang F., 2004 : RClimDex (1.0). ETCCDI/CRD Climate Change Indices.

Wijngarard J., Klein Thank A., Konnen G., 2003 : Homogeneity of 20th Century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, **23**, 679-692.