



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE DELLE PRODUZIONI VEGETALI**

INDIRIZZO: AGRONOMIA AMBIENTALE

XX CICLO

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA AMBIENTALE E PRODUZIONI VEGETALI

**AGROCLIMATOLOGIA STATICA E DINAMICA DEL VENETO
ANALISI DEL PERIODO 1956-2004**

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. Andrea Battisti

Supervisore: Ch.mo Prof. Antonio Berti

Dottorando: Dott. Alessandro Chiaudani

DATA CONSEGNA TESI

31 gennaio 2008

Declaration

I hereby declare that this submission is my own work and that, to the best of my knowledge and belief, it contains no material previously published or written by another person nor material which to a substantial extent has been accepted for the award of any other degree or diploma of the university or other institute of higher learning, except where due acknowledgment has been made in the text.

20.01.08

Alessandro Chiaudani

A copy of the thesis will be available at <http://paduaresearch.cab.unipd.it/>

Dichiarazione

Con la presente affermo che questa tesi è frutto del mio lavoro e che, per quanto io ne sia a conoscenza, non contiene materiale precedentemente pubblicato o scritto da un'altra persona né materiale che è stato utilizzato per l'ottenimento di qualunque altro titolo o diploma dell'università o altro istituto di apprendimento, a eccezione del caso in cui ciò venga riconosciuto nel testo.

20.01.08

Alessandro Chiaudani

Una copia della tesi sarà disponibile presso <http://paduaresearch.cab.unipd.it/>

Indice

Riassunto	6
Summary.....	8
1. Introduzione.....	11
1.1. Agricoltura e Clima	11
1.2. Clima come sistema complesso dinamico e discontinuo	11
1.3. Climatologia dinamica e le Teleconnessioni.....	16
1.3.1 NAO	18
1.3.2 EA.....	21
1.3.3. EAWR	22
1.3.4. SCAN	23
1.4. Cambiamento Climatico ed Analisi di discontinuità.....	25
1.4.1 Esempi di analisi di discontinuità.....	31
1.5. Inquadramento generale del sistema circolatorio.....	38
1.5.1. Clima del Veneto, masse d'aria e tipi circolatori	39
1.5.2. Climatologia Dinamica della Regione Veneto	40
1.5.3. Il clima del territorio veneto	42
2. Materiali e metodi.....	45
2.1. Origine della serie storica 1956-2004	45
2.2. Metodi	47
3. Risultati e discussione.....	49
3.1 Precipitazioni.....	49
3.1.1. Annue	49
3.1.2. Stagionali	52
3.1.3. Mensili	59
3.1.4. Decadali	60
3.1.5. Giornaliere	61
3.2 Temperature Massime	63
3.2.1. Annue	63
3.2.2. Stagionali	65
3.2.3. Mensili	70
3.2.4. Decadali	71

3.2.5. Giornaliero.....	72
3.3 Temperature Minime	74
3.3.1. Annue	74
3.3.2. Stagionali.....	75
3.3.3. Mensili.....	80
3.3.4. Decadali.....	81
3.3.5. Giornaliero.....	82
3.4. Evapotraspirazione di riferimento.....	84
3.4.1. Annua	84
3.4.2. Stagionale	88
3.4.3. Mensile	92
3.4.4. Decadale	93
3.4.5. Giornaliera.....	94
3.5. Bilancio idroclimatico.....	97
3.5.1. Annuo	97
3.5.2. Stagionale	99
3.5.3. Mensile	103
3.5.4. Decadale	104
3.5.5. Giornaliero	105
3.6. Confronto di trend tra Veneto ed Emilia Romagna	108
3.6.1. Precipitazioni.....	108
3.6.2. Temperature massime	109
3.6.3. Temperature minime	110
3.7. Un'applicazione di climatologia dinamica storica in Veneto.....	111
3.8. Pattern teleconnettivi stagionali e clima Veneto.....	113
3.8.1. NAO	113
3.8.2. EA.....	116
3.8.3. SCAN	121
3.8.4. EAWR	127
3.8.5. .Riassunto correlazioni stagionali con indici teleconnettivi.....	128
3.8.5. Confronto dei pattern teleconnettivi in Veneto e Piemonte	129

3.9. Trend e considerazioni Agroclimatiche in Veneto nel periodo 1956-2004	130
3.9.1 Ondate di caldo	131
3.9.2. Gelate tardive.....	133
3.9.3. Gelate precoci	135
3.9.4. Precipitazione estiva	137
3.9.5. ET0 estiva	138
3.9.6. Bilancio Idroclimatico estivo.....	139
3.9.7. Riserva idrica del Suolo.....	140
3.9.8. Fenologia Frumento.....	141
3.9.9. Fenologia Mais	144
3.9.10. Fenologia Vite	147
Conclusioni.....	150
Bibliografia.....	155

RIASSUNTO

Gli andamenti climatici di lungo periodo e quelli meteorologici di breve periodo influenzano da sempre l'attività agricola agendo ad esempio sulla distribuzione territoriale delle colture e sui risultati produttivi stagionali. Il clima è quindi uno dei principali “fattori di produzione”, in grado di condizionare sia le pratiche agricole stagionali sia la pianificazione aziendale pluriennale. Negli ultimi anni la percezione di attraversare una fase meteoclimatica anomala è aumentata trovando fondamento in studi e report realizzati a livello “globale”; i media e la presa di coscienza della pubblica opinione hanno portato i decisori politici ad adottare, a livello internazionale e nazionale, strategie volte al contenimento degli impatti futuri della variabilità climatica. Gli studi globali rimandano tuttavia alla necessità di approfondimento locali svolti sulla base che considerino le serie storiche disponibili. In particolare questa tesi si propone di fornire un quadro della situazione climatica ed agro climatica per il Veneto, con riferimento al periodo 1956-2004 ed aprendo una finestra sui possibili scenari futuri. In funzione di tale approccio è risultata pertanto cruciale la definizione di un metodo per descrivere il cambiamento climatico attraverso variabili fisiche (in particolare temperature, precipitazioni ed evapotraspirazione, strutture circolatorie) e biologiche (fasi fenologiche). In tal senso l'approccio della gran parte della comunità scientifica, che legge il comportamento del clima per mezzo di interpolanti lineari, effettuando poi estrapolazioni verso il futuro, è stato integrato dall'adozione di tecniche di analisi di discontinuità, idonee a descrivere la complessità del sistema climatico. Infatti sono sempre crescenti le evidenze secondo cui l'evoluzione del clima è caratterizzata non solo da comportamenti di tipo lineare ma anche da bruschi cambiamenti. In pratica l'ipotesi di lavoro è stata quella per cui, su serie storiche, si possono individuare punti di discontinuità che delimitano fasi climatiche omogenee, per ognuna delle quali potranno essere applicate le normali analisi di trend.

La tesi ha riguardato tanto gli aspetti propri della climatologia statica (andamenti spazio-temporali delle variabili meteorologiche al suolo) sia di quella dinamica (relazioni esistenti fra strutture circolatorie a macroscale e fenomeni meteorologici al suolo). In ambito climatologico dinamico in particolare si sono indagate le correlazioni fra indici circolatori a macroscale (NAO, ENSO, PDO, ecc.) e variabili meteorologiche al suolo monitorate nella Regione Veneto nel periodo 1956-2004.

I risultati ottenuti mostrano l'esistenza negli anni '80 di una discontinuità con cambiamento di fase climatica. Tale discontinuità è particolarmente evidente a livello termico ed evapotraspirativo: in particolare a valle del punto di discontinuità le temperature presentano un sensibile aumento (rispettivamente +1.5 e + 0.9 °C per le medie delle massime e delle minime rispetto alla fase precedente) che interessa tutte le stagioni e soprattutto le stagioni primaverile, estiva, e invernale per le temperature massime, e l'estate per le minime. I dati mostrano invece una sostanziale stazionarietà delle precipitazioni stagionali fatta eccezione per l'inverno che presenta una significativa diminuzione (in media - 78 mm rispetto alla fase precedente). Dal punto di vista territoriale emerge la situazione critica della pianura centro-meridionale (Polesine), che a seguito del punto di discontinuità manifesta una accentuazione delle condizioni di aridità. La criticità è accentuata dal fatto che il fenomeno si verifica nell'area che mediamente a livello regionale registra i valori di evapotraspirazione e bilancio idroclimatico medi annui più sfavorevoli.

L'evidenza di cambiamento di fase climatica degli anni '80 viene rafforzata (i) dall'analisi dei dati fenologici di specie coltivate (vite, mais e frumento tenero) per il Veneto (ii) da analisi climatiche condotte su altre regioni italiane (Emilia Romagna e Piemonte) (iii) da fonti bibliografiche relative ad analisi climatiche e fenologiche riferite ad altri areali europei. Il cambiamento climatico è altresì evidenziato dall'espansione della pratica dell'irrigazione di soccorso su vite in diversi areali veneti.

I risultati della tesi portano ad alcune indicazioni operative in merito alle strategie di adattamento, le quali potranno ad esempio mirare all'adozione di colture a ciclo autunno-vernino, in particolare frumento ed orzo, per le quali il rischio di effetti negativi da alte temperature estive ed aridità è decisamente minore rispetto a colture ad elevata esigenza irrigua quali il mais.

SUMMARY

Climatic and meteorological trends have always influenced, respectively in the long and short period, agricultural activity, acting for example on the territorial distribution of the crops and on seasonal yields. Climate is one of the main “production factors”, influencing not only field agricultural practices, but also the multiyear planning.

In the last decades the perception to live an anomalous meteo-climatic phase has increased on the base of global scale studies; the media and the rising consciousness of the public opinion, induced political authorities to assume, at national and international levels, strategies for the control and reduction of the hypothesized future impacts.

Global analyses envisages the exigency of new detailed studies at local scale carried out on the base of available time series. More specifically the aim of this work was the description of the agro-climatic situation at local level for Veneto Region 1956-2004 time series of meteorological variables. This work has also tried to give a brief description of the possible future scenarios.

Crucial has been the definition of a method to describe climatic change on the base of physical variables (temperature, precipitation, reference crop evapotranspiration, circulation indexes) and biological ones (phenological phases). In particular the approach of the most part of the scientific community (past climate behavior described by statistical linear interpolation methods with possible extrapolation of future trends) was integrated by the adoption of techniques of discontinuity analysis. These methods are useful to put in evidence that an important aspect of climate evolution is represented by abrupt changes with different phases separated by break-points.

Moreover the initial hypothesis of this work is that these break-points separate climatic homogeneous phases, whose trends are useful to be analyzed instead of the description of trends belonging to not homogenous periods.

This thesis approached both the aspects of static climatology (spatial-temporal behavior of surface meteorological variables) and the classical themes of the dynamic climatology (relations between macroscale circulation patterns and meteorological phenomena at surface). By the dynamic point of view the correlation between macroscale circulation indexes (NAO, ENSO, PDO, etc.) and surface meteorological variables gauged for Veneto region on the period 1956-2004 was studied.

Results show the existence of a climatic breakpoint in the '80 with a consequent change of climatic phase. This change point is particularly evident for temperatures and evapotranspiration: in particular after the change point, temperatures show a significant increase (respectively +1.5 and + 0.9 °C for yearly averages of maximum and minimum temperatures as regards to the previous phase) present in all seasons and particularly evident in spring, summer and winter for maximum temperatures and in summer for the minimum ones.

Time series show a substantial stationarity of seasonal precipitation with the only exception of winter ones, which show a significant decrease (in average -78 mm as regards to the previous phase,). The territorial analysis shows that the situation is particularly critical for the central - southern plain (Polesine), which after the breakpoint shows an increase of aridity. This problem is enhanced by the fact that it involves the area that at regional level shows the worst average values of water deficit.

The evidence of a change of phase in the '80 is strengthened by (i) analysis of phenological data regarding some Veneto crops (grapevine, maize and soft wheat) (ii) analysis of climatic data of other Italian regions (Emilia Romagna and Piemonte) (iii) climatic and phenological analyses referred to other European regions. Climatic change is also highlighted by the expansion of the irrigation practices on grapevine in many different environments of Veneto Region. The results of this study show some operational rules referred to adaptation strategies, which should for example promote the adoption of crops with fall-winter cycle, and in particular barley and wheat, which minimize the risk of high temperature and aridity

Un sincero ringraziamento a tutti coloro che hanno permesso la realizzazione di questo lavoro.

In particolare, desidero ringraziare il supervisore della tesi, professor Antonio Berti, e i professori Maurizio Borin e Luigi Mariani, che sono stati sempre presenti, con consigli e osservazioni puntuali, alle diverse fasi di preparazione del presente studio.

Un grazie sentito all'ARPAV, al direttore del Centro Meteorologico di Teolo, dott. Gabriele Tridello, e ai colleghi dott.ssa Irene Delillo e dott. Adriano Barbi, che, con generosità, hanno offerto il loro prezioso apporto tecnico-scientifico.

INTRODUZIONE

1.1. AGRICOLTURA E CLIMA

Nel XX secolo il panorama agricolo italiano è cambiato radicalmente: l'agricoltura ha risentito delle profonde trasformazioni che hanno interessato la nostra società civile; la conseguente crescita e mutazione dei consumi, il progressivo abbattimento delle barriere commerciali hanno offerto importanti sviluppi del settore agricolo. I mezzi tecnici innovativi e lo sfruttamento intensivo delle risorse ambientali non bastano però a vincere le sfide lanciate da una concorrenza commerciale allargata a scala planetaria in quanto è bene ricordare che l'agricoltura come attività economica deve necessariamente fare i conti con i vincoli ecosistemici e soprattutto con una variabile fortemente aleatoria: il clima (*Perini et al., 2004a*).

Gli andamenti climatici di lungo periodo e quelli meteorologici di breve periodo hanno da sempre influenzato l'attività agricola, la distribuzione territoriale delle colture ed i risultati produttivi stagionali. Il clima è quindi un vero e proprio "fattore di produzione" in grado di condizionare non solo le pratiche agricole "di campo", ma anche la pianificazione aziendale pluriennale.

Negli ultimi decenni la percezione di attraversare una fase meteoclimatica che si discosta dalla "normalità climatica" è aumentata. Studi e report realizzati a livello planetario o meglio "globale" hanno confermato questa fase anomala; i media e la presa di coscienza da parte della pubblica opinione ha portato i decisori politici all'assunzione, a livello internazionale e nazionale, di strategie per la gestione ed il contenimento degli impatti futuri dovuti a tali andamenti.

Il dibattito scientifico che si è aperto non ha ancora chiarito il rapporto tra il cambiamento e le fluttuazioni climatiche in quanto le variabili in gioco sono numerose e di varia natura concorrendo, nel complesso, a determinare un elevato grado di incertezza (*Perini et al., 2004b*). Alcuni indicatori, come l'aumento delle temperature a scala globale, impongono una serrata attività di monitoraggio del clima non più solo a livello globale, ma anche a scala nazionale e meglio ancora regionale, anche per cercare di soddisfare in maniera possibilmente corretta, imparziale ed indipendente, la crescente domanda di informazioni relative alle ricadute che eventuali trend agroclimatici avrebbero sull'agroecosistema a livello locale.

L'APAT e anche le agenzie regionali per la protezione dell'ambiente si sono impegnate in tal senso nello svolgimento di una azione conoscitiva efficace e condivisa attraverso la definizione, elaborazione e diffusione di indicatori rappresentativi dello stato dell'ambiente e delle sue tendenze (*APAT, 2006*). Questo lavoro vuole, anche al livello regionale locale della Regione Veneto, fornire un quadro della situazione climatica ed agroclimatica attuale, descrivendo gli andamenti e i trend di 49 anni del periodo 1956-2004. Si proverà ad aprire una piccola finestra su quelli che potrebbero essere gli scenari futuri secondo differenti interpretazioni originate anche da diverse elaborazioni di tipo statistico.

1.2. IL CLIMA COME SISTEMA COMPLESSO DISCONTINUO

L'attenzione al clima attuale, alle sue tendenze, e l'interesse per i fenomeni avversi più eclatanti, sono oggi fenomeni talmente radicati nell'opinione pubblica da meritare

probabilmente uno studio sociologico prima che scientifico; lo dimostrano la quantità e qualità degli interventi su radio, televisioni, internet.

A fronte di questo dilagante interesse che in maniera trasversale coinvolge lo scienziato e studioso della materia, l'amatore ed il semplice cittadino, non si deve mai scordare che l'argomento è quanto mai complesso e che riflette la caratteristica più importante del sistema climatico, ovvero il fatto che il sistema climatico è il risultato delle interazioni di una serie di sottosistemi (atmosfera, terre emerse, ghiacci continentali e oceanici, oceani, esseri viventi). Da ciò si ricava che in pratica tutto il pianeta partecipa al sistema climatico.

I sottosistemi sopra elencati comunicano tra loro scambiando continuamente energia e materia, con retroazioni (feed-backs) positive e negative solo in parte note. Il risultato finale è un sistema climatico assai complesso che funziona grazie alla energia fornitagli dal sole (se spegnessimo il sole la circolazione atmosferica si fermerebbe nel giro di giorni, quella oceanica nel giro di mesi-anni), che ha la funzione di riequilibrare lo scompenso energetico fra basse e alte latitudini (il che avviene per l'80% tramite la circolazione atmosferica e per il 20% tramite la circolazione oceanica), ed emettendo verso lo spazio energia in forma di radiazione (*Bigg et al., 2003*). Per utilizzare una metafora si può affermare che per un climatologo parlare di clima senza considerare la circolazione atmosferica è come per un medico parlare di fisiologia umana trascurando la circolazione del sangue.

In questo lavoro di dottorato ho affrontato la questione con un approccio che tenesse conto anche di questi aspetti, generalmente meno conosciuti al grande pubblico anche perché più complicati da comunicare tramite i media; il comune cittadino viene oggi informato assiduamente riguardo a valori massimi, trend e percentuali di aumento o diminuzione di valori numerici di temperatura e precipitazione, ghiacci, livello dei mari, eventi estremi, con il rischio di semplificare eccessivamente un argomento molto articolato, in gran parte sconosciuto, del quale è ancora difficile pensare di scrivere il paragrafo relativo alle conclusioni.

E' bene ricordare, inoltre, che il clima attuale viene definito dalla Organizzazione Meteorologica Mondiale come il risultato dell'analisi statistica (valori medi ed estremi) dei dati rilevati negli ultimi 30 anni. Anche se l'automatizzazione della gestione dei dati dovrebbe almeno in teoria portare ad avere statistiche in tempo reale sugli ultimi 30 anni, per cui ad esempio il periodo 1977-2006 sarebbe il clima attuale con cui confrontare i dati del 2007, è in genere tollerato che il trentennio di riferimento venga aggiornato ogni 10 anni, per cui l'attuale periodo di riferimento dovrebbe quantomeno essere il trentennio 1971-2000. Purtroppo anche tale convenzione viene spesso disattesa, per cui ancora oggi molti soggetti continuano ad utilizzare il trentennio 1960-1990 come riferimento per analisi di anomalia.

In relazione a ciò diventa a questo punto cruciale la definizione di cambiamento climatico e delle variabili che lo descrivono come le temperature e le precipitazioni; infatti, mentre la gran parte della comunità scientifica legge il comportamento del clima nel tempo passato e futuro utilizzando una linea retta, ed effettuando quindi un'approssimazione, sono sempre crescenti le evidenze secondo cui l'evoluzione del clima è caratterizzata da bruschi cambiamenti con transizioni di fase (*Peixoto e Oort, 1992*) che di qui in avanti chiameremo discontinuità. In pratica un'ipotesi di lavoro da non trascurare è quella secondo cui su serie storiche tali discontinuità delimitino fasi climatiche omogenee in relazione alle quali potranno essere applicate le normali analisi di trend, analisi che non

dovrebbero essere invece applicate su periodi a cavallo di discontinuità poiché ci si troverebbe ad indagare periodi climaticamente non omogenei.

Da qui una possibile critica al concetto di clima attuale come clima degli ultimi 30 anni, che l'Organizzazione Meteorologica Mondiale adottò a seguito di un vasto dibattito a cui partecipò la comunità climatologica fra gli anni '30 e gli anni '50. Alla luce dell'esistenza di discontinuità, invece, il clima attuale potrebbe essere costituito non tanto dall'ultimo trentennio ma da periodi di durata variabile a valle del più recente punto di discontinuità.

Per descrivere i trend delle variabili climatiche per il periodo 1956-2004, periodo preso in esame in questo lavoro, è stata fatta la scelta di usare metodi statistici diversi in grado di descrivere gli andamenti lineari ma anche i bruschi cambiamenti di regime climatico. In questo modo si propone una doppia lettura degli andamenti climatici; doppia lettura che garantisce una descrizione più articolata e perciò più rispettosa della complessità del sistema climatico, complessità che si esprime in una elevatissima variabilità.

Di fronte al sistema più complesso presente sul nostro pianeta sono d'obbligo la necessaria prudenza e la doverosa considerazione nei confronti di analisi di dati disponibili in modo diverso dal nostro (Tennekes, 2006). Per comprendere tale aspetto che dovrebbe risultare propedeutico ad ogni attività di ricerca sul clima si possono portare due esempi di rara efficacia. Anzitutto nella ricchissima monografia *Climate and Rice* prodotta dall'IRRI e pubblicata nel 1979, spicca l'intervento di Huke (Huke, 1976) il quale paventa danni alla produzione di riso derivanti dal progressivo raffreddamento del clima.

Anche l'illustre climatologo H.H. Lamb pubblicava negli anni settanta sulla Rivista mensile dell'Unesco un articolo divulgativo dal titolo «Il clima si raffredda» in cui constatava la brusca flessione in atto delle temperature e scriveva fra l'altro: «[...]divenne presto evidente che l'anidride carbonica non poteva spiegare tutto. Infatti, nonostante l'aumento della sua produzione dovuto alla sempre maggiore industrializzazione e al crescente consumo di oli e di altri combustibili, la variazione di temperatura si è invertita. E cioè negli ultimi 25-30 anni la Terra è progressivamente diventata più fredda. Il raffreddamento è stato particolarmente intenso intorno al 1960 e vi sono oggi molte prove di corrispondenti inversioni delle migrazioni degli uccelli e dei pesci e nella estensione delle colture e delle foreste.». L'articolo di Lamb (1977) si chiudeva con la seguente considerazione: «Tutti questi eventi hanno messo in luce l'urgente necessità di una previsione climatica a lunghissima scadenza, la quale però richiede maggiore impegno per la comprensione dell'atmosfera (e delle sue interazioni con gli oceani) e una ulteriore ricostruzione dei fatti climatici del passato».

E' bene quindi ricordare che già negli anni '70 alla mancanza di affidabilità dell'informazione scientifica si accompagnava anche l'informazione mediatica imprudente come nel caso del Newsweek del 28 aprile 1975 che descriveva e prospettava un periodo di cambiamento climatico all'insegna di un forte raffreddamento globale paventando una nuova era glaciale.

delle teleconnessioni e l'utilizzo della regressione multipla per risolvere il problema delle previsioni a lungo raggio. Il lavoro dello studioso culminò nella redazione della “pietra miliare” della ricerca teleconnettiva (*Walker et al. 1932*) in cui venivano identificate tre teleconnessioni dominanti: la Southern Oscillation (SO), la North Atlantic Oscillation (NAO) e la North Pacific Oscillation (NPO).

Come è ben noto gli studi relativi ai cambiamenti climatici sono spesso accompagnati da cosiddetti “multiproxy data”, ovvero evidenze fisiche, naturali quali, ad esempio il rapporto tra gli isotopi di ossigeno nelle carote di ghiaccio di Epica, lo spessore dei sedimenti marini-fluviali e lacustri, i pollini fossili, le cerchie di accrescimento degli alberi, coralli e stalattiti o documentali, quali le annotazioni meteorologiche dei libri di bordo delle navi, diari di viaggiatori, antichi documenti di amministrazioni (*García-Herrera, 2007*); questi integrano in modo molto utile le informazioni esistenti sui fenomeni climatici del passato quando non erano disponibili dati strumentali.

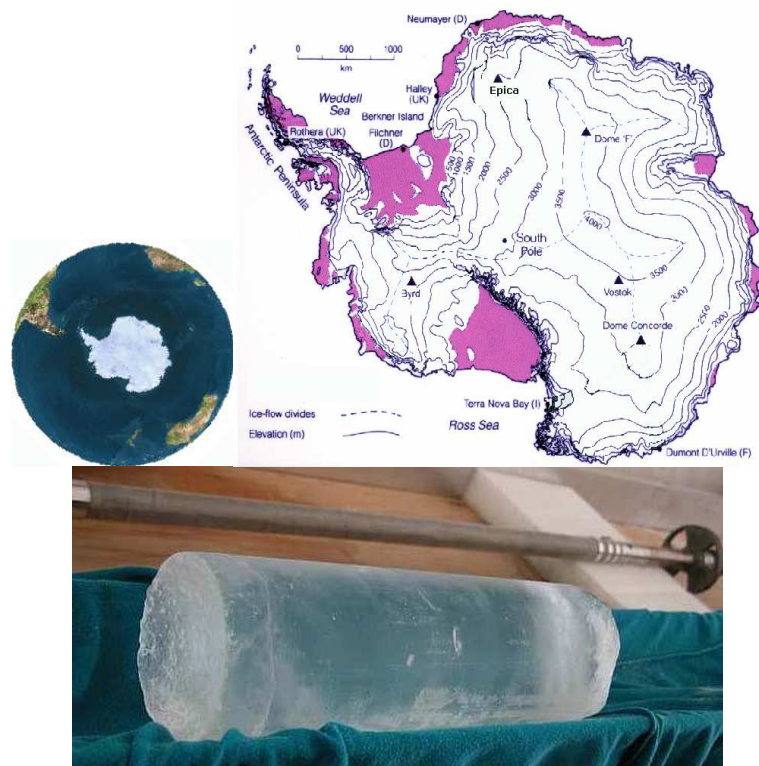


Figura 2: la prima carota di ghiaccio proveniente da una profondità di 3200 m del sito di EPICA, (European Project for Ice Coring in Antarctica) 25 novembre 2004.
http://www.mna.it/italiano/News/Scienza_main_old.htm

Spesso in ambito agroclimatico per meglio individuare trend in corso, si fa riferimento alla fenologia; prezioso proxy data naturale è la disciplina che studia i fenomeni biologici periodici che si manifestano con evidenti mutamenti dell'aspetto degli organismi viventi, descrive le loro fasi, le correla tra di loro e con le variabili ambientali, qual ad esempio il clima (*Borin et al. 2003*). A livello europeo è in fase di rivalutazione, anche in chiave di cambiamenti climatici, il ruolo delle reti fenologiche nazionali con la “COST Action 725” (*Koch et al. 2007*). Iniziano inoltre ad essere disponibili interessanti lavori che correlano trend fenologici con gli andamenti climatici e, in maniera più approfondita, con gli

andamenti storici di indici circolatori quali il NAO, la cui variabilità annuale risulta avere avuto un ruolo considerevole nella discontinuità del comportamento fenologico di molte essenze forestali individuata nel 1989 (*Scheifinger et al. 2002*).

1.3. CLIMATOLOGIA DINAMICA E TELECONNESSIONI

Per effettuare analisi dettagliate delle caratteristiche climatiche di un territorio è necessario partire dai dati misurati in maniera continuativa sul sito osservato. Questo è ora possibile grazie alle reti di telemisura che misurano con scansione oraria le precipitazioni, le temperature, l'umidità relativa, la radiazione solare, la velocità e direzione del vento, le precipitazioni nevose, la pressione atmosferica, le temperature della superficie del mare (SST sea-surface temperature). Una volta controllati e stoccati in un data base, i dati possono dare origine a valori medi e cumulati (oltre ai relativi indici di variabilità) a livello mensile, stagionale e annuale. Questo tipo di sintetica informazione periodica è adatta all'individuazione di trend significativi, fasi climatiche e cambiamenti del regime climatico ma non è in grado di dare informazioni complete sulle dinamiche che giungono a produrre tali trend e fasi, essendo infatti le stazioni di misura rappresentative di una piccolissima parte di un enorme e complesso puzzle che costituisce il clima terrestre.

La branca della climatologia che tenta di espandere le conoscenze su tali argomenti collocandoli correttamente nell'ambito del sistema climatico è la "climatologia dinamica". Questa branca della climatologia si occupa di studiare la frequenza e la persistenza delle strutture circolatorie (tipi di tempo o "climatic modes") che insistono su un particolare areale e di porle in relazione con le variabili meteorologiche al suolo caratteristiche di quello stesso areale, avendo pertanto ben presenti le relazioni causali esistenti (es. relazioni fra la struttura meteorologica di bora e temperatura a Venezia, relazione fra il "ciclone di Genova" e la pioggia sulle Prealpi venete, relazione fra NAO invernale e precipitazioni a sud delle Alpi).

Un particolare filone di studio della climatologia dinamica è quella che si occupa dello studio delle teleconnessioni e cioè dei rapporti esistenti fra le strutture circolatorie che insistono su areali particolari del pianeta (e che possono anche essere descritte da indici quali NAO, ENSO, PDO, AMO, ecc.), e gli effetti che si manifestano in areali molto distanti tra loro, ad esempio a livello di variabili meteorologiche al suolo. Nel caso delle teleconnessioni il rapporto causale di cui si suppone l'esistenza non è noto. Anche relazioni tra grandezze tipiche della climatologia statica (temperature, precipitazioni, ecc.) su aree lontane del pianeta possono essere definite come teleconnessioni. Come esempio del tutto ipotetico potrebbe essere considerata come una teleconnessione un'eventuale relazione esistente fra precipitazioni abbondanti in sud America e precipitazioni abbondanti sull'area europea.

I pattern quali NAO, EA ecc.. si estendono su areali ampi, (Nord America, Europa, Eurasia, ecc..) ed è bene ricordare che sono un ricorrente e naturale aspetto del nostro caotico sistema atmosferico e conseguenti a dinamiche atmosferiche interne molto complesse. Approfondendo questo approccio dinamico che fa riferimento agli anticiclone o alle depressioni responsabili di fenomeni atmosferici cruciali come la siccità o le fasi di piovosità prolungata, si potrebbero evidenziare le tendenze in atto e sviluppare ipotesi sulle tendenze future, in modo da poter poi definire strategie ad esempio di mitigazione e

adattamento anche nel campo agricolo, forestale e di governo del territorio (*Georgiadis e Mariani, 2006a*).

Caratteristica importante della circolazione atmosferica è la sostanziale variabilità che si riflette in configurazioni meteorologiche e sistemi circolatori che si presentano con periodicità su scale temporali che vanno da pochi giorni (es. il passaggio del sistema frontale di una perturbazione) a poche settimane (es. un periodo caldo all'interno della stagione invernale), a pochi mesi (es. inverni caldi o estati fredde), a molti anni (es. una serie di inverni freddi consecutivi), a decenni. La configurazione meteorologica viene quindi definita con il termine pattern (configurazione) teleconnettivo con il quale si vogliono mettere in evidenza ricorrenti e persistenti configurazioni di anomalie di pressione e conseguentemente di circolazione atmosferica ma anche marina che interessano vaste aree geografiche molto distanti tra loro, ma "teleconnesse". Tali configurazioni vengono considerate a "bassa frequenza" in quanto si ripetono con periodicità anche a lunga scala temporale, pluriennale e interdecadale; infatti questi pattern possono durare varie settimane o mesi, ma anche molti anni consecutivi, influenzando così la variabilità della circolazione atmosferica di località molto distanti tra loro, sovrastando e influenzando interi oceani e continenti.

Alcune di queste configurazioni, soprattutto quelle del Nord Pacifico, sono influenzate da cambiamenti nelle temperature della superficie del mare tropicale e delle convezioni tropicali atmosferiche come nel caso di ENSO (El Niño/Southern Oscillation) (*Barnston et al. 1991*), che può essere considerato come una naturale oscillazione del sistema oceano (El Niño), atmosfera (Southern Oscillation) e che viene descritta sinteticamente dall'indice SOI (Southern Oscillation Index). ENSO è quindi una teleconnessione ibrida derivata dal coupling oceano atmosfera. Le regioni interessate dalla oscillazione climatica ENSO (Costa Occidentale del Sud America, Indonesia e Pacifico Centrale) beneficiano da qualche anno di previsioni stagionali ragionevolmente buone, grazie alla possibilità di potere prevedere il comportamento delle due componenti, quella oceanica di *El Niño*, e quella atmosferica della *Southern Oscillation* (*Piechota e Dracup, 1999; Cordery e McCall, 2000*).

La presenza di pattern teleconnettivi è riscontrabile anche alle medie latitudini. In Europa e sull'area Mediterranea una delle teleconnessioni più conosciute, ma non l'unica, è senz'altro la NAO (North Atlantic Oscillation). Questa oscillazione puramente troposferica è una anomalia pressoria del Nord Atlantico che si manifesta tra l'anticiclone subtropicale e il ciclone subpolare (*Thompson e Wallace, 1998; Thompson e Wallace, 2000; Thompson et al., 2000*). Le configurazioni teleconnette come il NAO descrivono cambiamenti a grande scala nella ondulazione atmosferica e nelle configurazioni dei jet streams che determinano diversi valori di temperatura, piogge, traiettoria e intensità dei temporali su ampi territori molto distanti tra loro. Per esempio l'inverno 1995-1996 fu molto freddo e nevoso in Nord America orientale, in Nord Europa ed in Scandinavia si registrarono temperature rigide, mentre sul Mediterraneo si verificarono condizioni umide e temporalesche. Queste diverse configurazioni "al suolo" erano tutte legate alla stesso pattern teleconnettivo del North Atlantic Oscillation (NAO) che attraversava una forte fase negativa.

Complessivamente dieci pattern teleconnettivi possono essere individuati nell'Emisfero Nord extratropicale del pianeta (*Barnston e Livezey 1987*) mentre come già accennato, Sir Gilbert Walzer identificò a grande scala territoriale le tre maggiori oscillazioni di pressione a livello del mare: la Southern Oscillation (SO), la North Atlantic Oscillation (NAO) e la North Pacific Oscillation (NPO) (*Philander, 1990*). Ognuna di queste oscillazioni è

fondamentalmente un gradiente di pressione tra due specifiche località, che varia e si alterna con periodicità di breve ma anche di lungo periodo (*Rasmusson, 1985*).

Individuate quindi le teleconnessioni più evidenti, la predicibilità del clima regionale nel lungo periodo e a grande scala territoriale può dipendere di fatto anche dalla capacità predittiva stessa delle teleconnessioni, che a livello dell'Atlantico e dell'Europa Occidentale sono di tipo troposferico. Le principali sono il NAO (North Atlantic Oscillation), l'East Atlantic pattern (EA), lo Scandinavian (SCAN), e l'East Atlantic/West Russia (EAWR) (*Walker e Bliss, 1932; Wallace e Gutzler, 1981; Barnston e Livezey, 1987; Hurrell, 1995*).

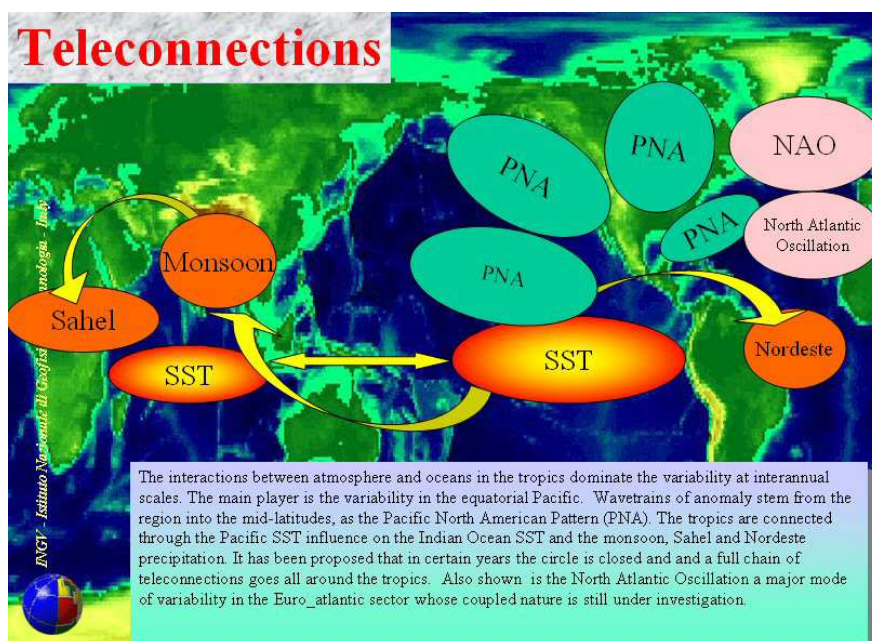


Figura 3: Teleconnessioni del Pacifico e dell'Atlantico

Fonte: INGV

1.3.1. NAO (North Atlantic Oscillation Index)

Il North Atlantic Oscillation index esprime le fluttuazioni della differenza di pressione atmosferica esistente tra le Azzorre settentrionali alte e la Bassa Islanda.. Le conseguenze di tali oscillazioni sono cambiamenti dei regimi termometrici e pluviometrici dell'emisfero nord che si estendono dall'America Nord-Occidentale all'Europa (*Walker e Bliss, 1932; Van Loon e Rogers, 1978*).

Il meccanismo che regola la NAO dipende dal comportamento dei due centri d'azione coinvolti, protagonisti nell'influenzare il tipo di tempo meteo nel breve periodo (stagionale, annuale) e il tipo di clima nel lungo periodo (pluriennale, interdecadale). I due centri d'azione sono l'anticiclone delle Azzorre e la zona di bassa pressione semipermanente del ciclone d'Islanda. Le due strutture si possono considerare separatamente o come un'unica entità, descritta dall'indice teleconnettivo del pattern NAO.

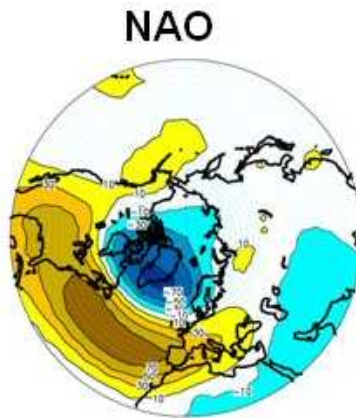


Figura 4: configurazione della NAO
Fonte: Dr. David B. Stephenson
Reading University, U.K.

L'interazione di questi due sistemi barici determina il flusso di venti, jet streams veloci correnti d'aria ad alta quota troposferica che si muovono da est a ovest alle medie-alte latitudini sul fronte polare, cioè nella la zona di incontro tra l'aria calda di provenienza subtropicale e quella fredda di provenienza polare in seno alla quale si sviluppano le perturbazioni che raggiungono l'Europa. Tale flusso non mantiene sempre costante la sua latitudine in quanto la NAO stessa ne determina lo spostamento molto più a sud o a nord del normale caratterizzando fortemente la presenza di perturbazioni nelle westerlies.

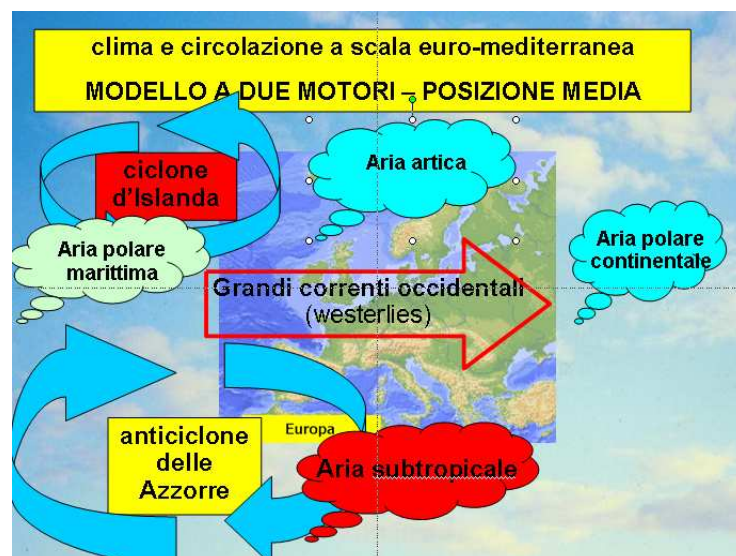
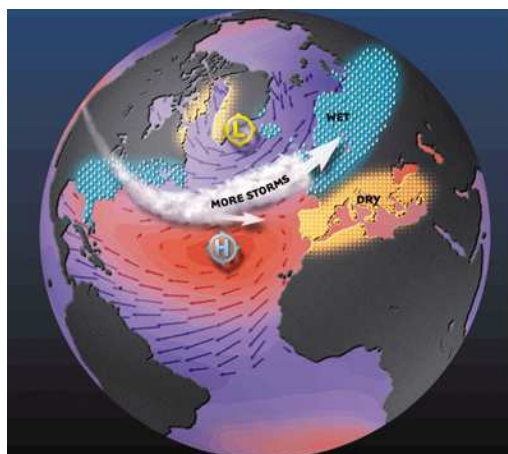


Figura 5: clima e circolazione euro-mediterranea: modello a due motori.
Fonte:

Fasi fortemente positive dell'indice NAO stanno ad indicare non solo un rafforzamento della bassa pressione d'Islanda e un ulteriore aumento della pressione intorno ai 40°N, ma anche forti venti occidentali che attraversano il nord atlantico, temperature sotto la media nell'area della Groenlandia e della penisola del Labrador e sopra la media nella parte orientale degli USA e nord-occidentale dell'Europa (*Wallace e Gutzler, 1981*). In questo caso è positiva anche la correlazione tra la differenza di pressione tra Islanda e Azzorre e la

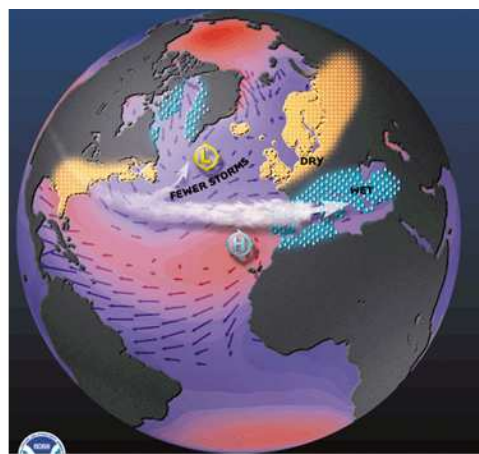
media della temperatura della bassa troposfera, sull'Atlantico nord-occidentale, dove all'anormale approfondimento della Bassa d'Islanda corrisponde un'anomala condizione di raffreddamento, mentre un aumento di pressione determinerà un anomalo aumento di temperatura. Valori negativi della NAO sono indicativi di anomalie in senso opposto dell'indice. In queste condizioni sull'Europa nord-occidentale la correlazione tra pressione e temperatura sarà negativa, indicando condizioni di relativo riscaldamento quando la pressione della Bassa d'Islanda subisce un'anomala diminuzione e di relativo raffreddamento quando questa struttura si indebolisce (Peixoto e Oort, 1992).

In generale, per il Mediterraneo, quando l'indice NAO è positivo è associato solitamente con condizioni di tempo migliori, dal momento che non solo l'Anticiclone delle Azzorre viene a trovarsi alle nostre latitudini, ma anche prevalgono le correnti occidentali e nord-occidentali e gli eventuali disturbi non hanno grande durata. Inoltre, la corrente a getto subpolare (jet streams) e quindi la ciclogenesi ad essa associata è confinata alle più alte latitudini. Con l'indice NAO negativo, invece, si hanno più frequentemente ciclogenesi (la corrente a getto con i suoi meandri interessa le latitudini più basse) o irruzioni fredde ed eventuali situazioni di blocco, in quanto la riduzione del gradiente di pressione determina una riduzione dell'attività ciclonica sull'Atlantico e uno spostamento verso sud del percorso dei cicloni extratropicali che attraversano l'oceano raggiungendo l'Europa.



NAO POSITIVO

le perturbazioni tendono a colpire maggiormente l'Europa centro-settentrionale



NAO NEGATIVO

le perturbazioni tendono a colpire maggiormente l'Europa centro-meridionale (Mediterraneo)

Figura 6: le fasi positive e negative del NAO

Fonte EU Commission 2005: Climate Change and the European water dimension

http://ccu.jrc/Publications/Climate_Change_and_the_European_Water_Dimension_2005.pdf

A causa della sua prolungata fase positiva invernale, si imputa al NAO durante il XX secolo una responsabilità importante nel riscaldamento delle Alpi dovuto allo shift positivo delle temperature, con conseguenze sull'innevamento, l'idrologia e la vegetazione montana (Rial et al., 2004), in quanto durante l'inverno il NAO positivo determina una significativa riduzione del trasporto globale di umidità atmosferica sopra l'Europa meridionale e sopra il Mediterraneo (Hurrell 1995, Chelliah e Bell, 2005) e una stagione invernale più asciutta (Beniston e Junco, 2002).

Come si vede anche visivamente dal grafico, il NAO invernale esibisce una considerevole variabilità periodica con fasi pluriennali, pluridecennali lungamente positive alternate a fasi lungamente negative (Hurrell, 1995; Chelliah e Bell, 2005; Rial et al., 2004). La fase

invernale negativa del NAO caratterizza il periodo che va da metà anni '50 al 1978/79. In questi 24 anni si sono verificati 4 sottoperiodi caratterizzati da almeno tre anni in cui la fase negativa è stata dominante con completa assenza di fase positiva. Durante questi anni la fase positiva si è verificata a livello stagionale solo tre volte, e mai per due anni di seguito. Una brusca transizione ad una fase positiva del NAO si è verificata negli anni 1979/1980. Questa fase si è prolungata durante la stagione invernale fino al 1994/95. In questi 15 anni la fase negativa è comparsa solo due volte, durante l'inverno 1984/85 e 1985/86. Anche i mesi compresi tra novembre 95 e febbraio 96 sono caratterizzati dal ritorno di una forte fase negativa del NAO (Halpert e Bell, 1997).

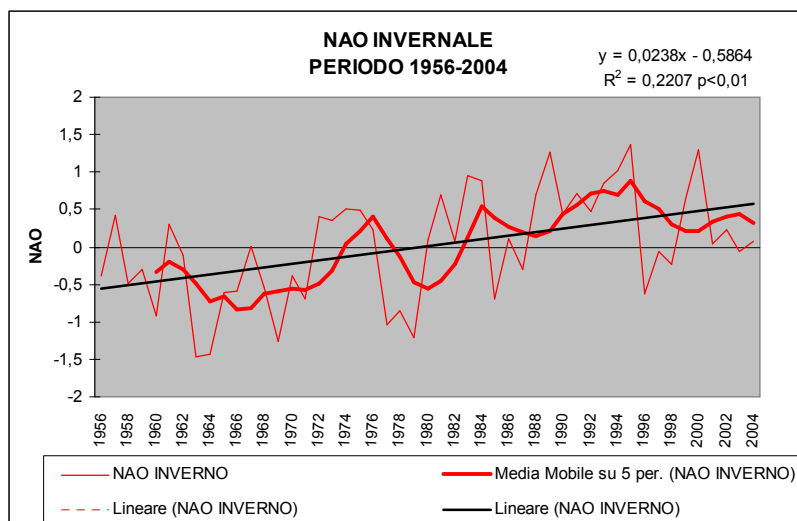


Figura 7: andamento del NAO index invernale nel periodo 1956-2004

Fonte: dati NOAA, elaborati

1.3.2. EA (East Atlantic pattern)

Strutturalmente simile alla NAO, ma secondo molti autori molto più preciso per il bacino del Mediterraneo e l'Italia, l'EA consiste in un dipolo pressorio Sud-Nord comprendente l'intero Nord Atlantico. I centri delle anomalie pressorie sono disposti a Sud-Est rispetto al classico schema della NAO, e per questo l'EA pattern viene spesso visto come un pattern NAO traslato verso Sud. La sua fase positiva indica una depressione semipermanente sbilanciata verso le isole Britanniche e il Mare del Nord ed un anticiclone atlantico supportato dall'alta pressione subtropicale nordafricana tra Algeria e Libia risalendo verso l'Egeo ed il Mar Nero. Al contrario la fase negativa è rappresentata da alte pressioni sull'Europa centro-occidentale ed un canale depressionario sui Balcani e mediterraneo passando per l'Italia meridionale e con tempo da est sulla penisola.

Tuttavia le anomalie positive alle basse latitudini, prese in considerazione dall'EA, presentano un forte collegamento con quella che è la modulazione dell'intensità e della disposizione dei promontori di origine subtropicale, rendendolo un indicatore dell'innalzamento/abbassamento dell'ITCZ e della cella di Hadley (Panagiotopoulos et al., 2002).

East Atlantic

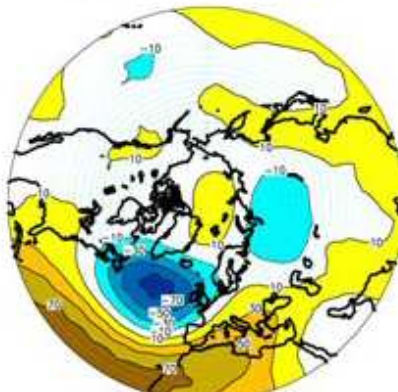


Figura 8: configurazione dell'EA

Fonte: Dr. David B. Stephenson
Reading University, U.K

La fase positiva dell'EA è associata in Europa a temperature sopra la media durante tutti i mesi dell'anno e a temperature sotto la media negli Stati Uniti meridionali (*Barnston e Livezey, 1987*). Tale configurazione è inoltre responsabile di precipitazioni sopra la media sul nord Europa e la Scandinavia e sotto la media nel sud Europa, mentre in Italia non risulta essere correlato con le precipitazioni (*Wibing, 1999*). L'EA presenta una variabilità pluridecennale molto forte. Nel periodo 1950-2004 l'EA ha presentato una fase negativa durante il sottoperiodo 1950-1976 e una fase positiva tra il 1977 ed il 2004.

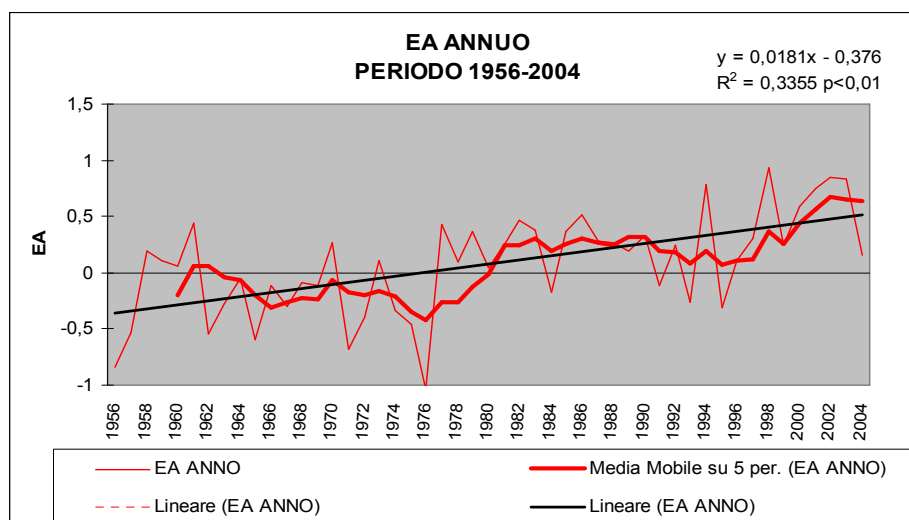


Figura 9: andamento del EA index annuo nel periodo 1956-2004

Fonte: dati NOAA, elaborati

1.3.3. EAWR (East Atlantic/West Russian)

L'EA/WR è uno dei pattern teleconnettivi predominanti nell'influenza delle configurazioni euroasiatiche. In questo caso abbiamo quattro centri di azione principali. Nella fase positiva abbiamo anomalie geopotenziali positive sull'Europa occidentale e sul Nord della Cina, con anomalie negative localizzate in Atlantico centro-settentrionale a Nord del Mar Caspio. La fase positiva dell'indice determina temperature superiori alla media nell'Est-Asia ed Europa occidentale, inferiori in aree estese della Russia occidentale e dell'Africa

nordorientale. Gli scostamenti precipitativi più significativi riguardano negativamente l'Europa centrale e positivamente la Cina orientale.

E. Atl/W. Russian

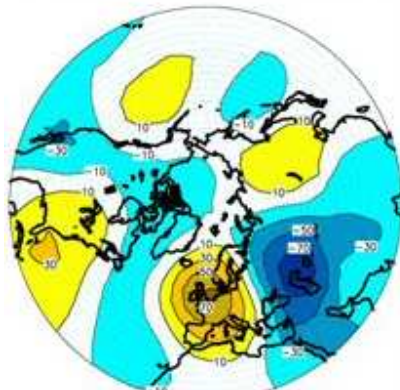


Figura 10: configurazione dell'EA/WR

Fonte: Dr. David B. Stephenson
Reading University, U.K

Fasi persistentemente negative dell'indice sono state osservate durante gli inverni e l'inizio primavera degli anni 1969/70, 1976/77, 1978/79, periodi tutti caratterizzati da elevata piovosità in Europa occidentale (Panagiotopoulos *et al.*, 2002). Nel periodo considerato (1956-2004) presenta un trend lineare negativo non significativo

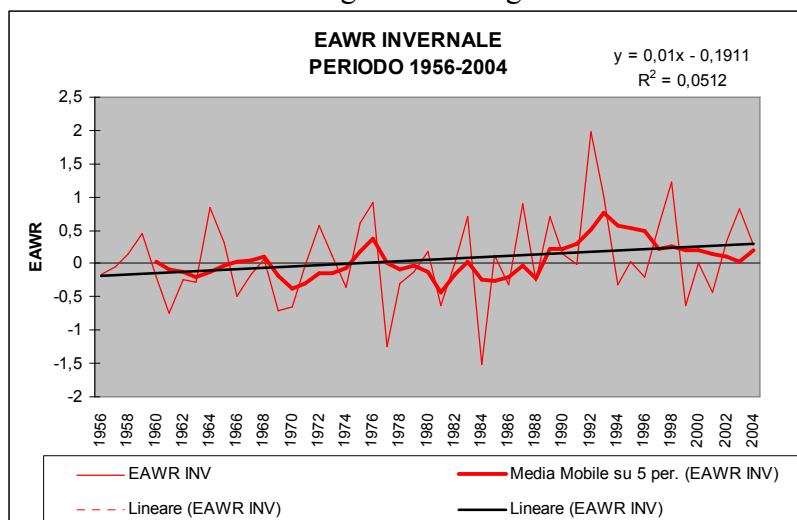


Figura 11: andamento del EA/WR index invernale nel periodo 1956-2004

Fonte: dati NOAA, elaborati

1.3.4. SCAN (Scandinavian)

Lo SCAN è una ulteriore evoluzione verso oriente della NAO e, se positivo consiste in un centro di alta pressione posizionato su Scandinavia, mentre al contrario localizza profonde depressioni anche di origine polare. Durante la fase positiva la circolazione favorisce flussi molto freddi anche artico-continentali da nord-est verso l'Europa centrale e meridionale, mentre la fase negativa propone flussi polari marittimi verso l'Europa nord-occidentale e correnti miti ed umide sud-occidentali verso l'Europa orientale e la Russia europea.

Scandinavian

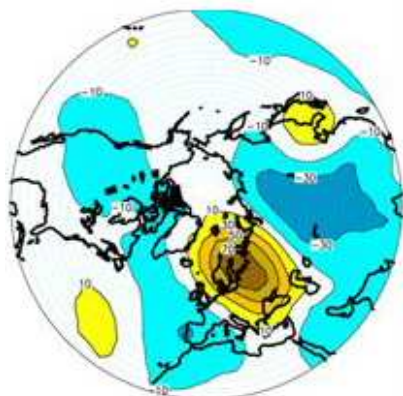


Figura 12: configurazione dello SCAN

Fonte: Dr. David B. Stephenson
Reading University, U.K

La comparsa di questo pattern è anche associato a precipitazioni intense sull'Europa occidentale in autunno, come ad esempio nell'Ottobre 2002 (*Blackburn e Hoskins, 2001*). La presenza di un anticiclone sopra la Scandinavia del nord (fase positiva dello SCAN) sarebbe associato ad un aumento delle precipitazioni in Italia soprattutto in primavera (*Wibing, 1999*).

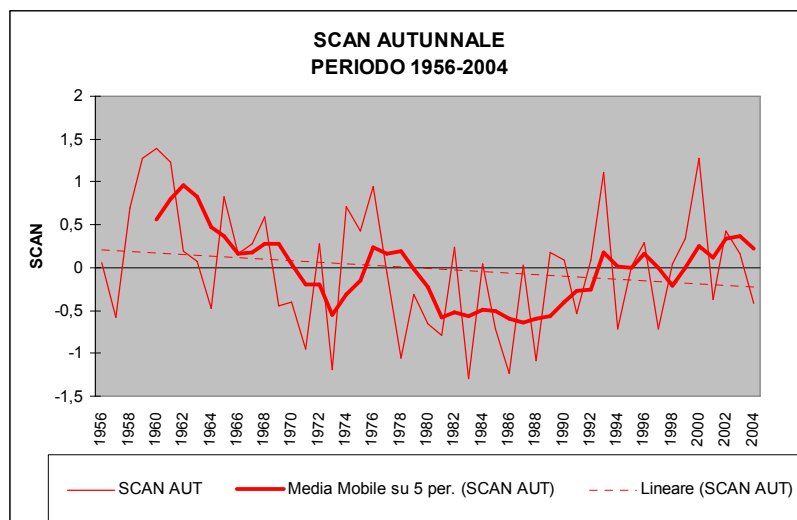


Figura 13: andamento dello SCAN index autunnale nel periodo 1956-2004

Fonte: dati NOAA, elaborati

1.4. CAMBIAMENTO CLIMATICO E ANALISI DI DISCONTINUITA'

Le condizioni meteorologiche di un sito sono rappresentate dall'insieme delle grandezze meteorologiche (temperatura, umidità dell'aria, ecc.) che vi si determinano in un certo momento. Per cogliere il clima di un territorio o di una Regione come il Veneto occorre considerare l'insieme delle condizioni meteorologiche su lunghi periodi di tempo, dell'ordine dei decenni. Elaborando statisticamente tali variabili meteorologiche otteniamo opportuni indici climatici (valori medi, cumulativi, frequenze, ecc.), che di fatto descrivono una situazione climatica che in verità è astratta e non reale.

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale definisce il clima attuale di un sito o territorio, ovvero la sua "normale climatica", l'elaborazione statistica dei dati meteorologici degli ultimi 30 anni. Alla "normale climatica" bisogna riferirsi se si vogliono fare confronti e valutare anomalie con i dati attuali. E' ovvio che tale scelta possa rivelarsi in alcuni casi inadeguata, in quanto un trentennio può risultare un periodo troppo breve per variabili che abbiano variabilità interannuale accentuata (precipitazioni, copertura nuvolosa, vento, ecc.), o può viceversa essere un periodo troppo lungo, ricadendo ad errori legati a fluttuazioni del clima verificatesi nell'arco di tempo considerato (*Mariani, 2006a*).

Un esempio può essere quello delle aree soggette ad urbanizzazione dove il decennio può risultare più rappresentativo (*Munn, 1970*). Così come la descrizione del cambiamento climatico che ha interessato l'area europea nella seconda metà degli anni '80 per effetto del brusco cambiamento di regime nelle grandi correnti occidentali (*Werner et al., 2000*) e che si è ad esempio tradotto in un brusco aumento delle temperature, potrebbe essere fatta adottando come serie di riferimento il periodo successivo a tale cambiamento. In tal senso Lamb (1966) suggeriva di sostituire il concetto di "normale climatica" con quello di "valore medio per un periodo dato", periodo che andrebbe sempre indicato.

Quindi definire numericamente ed assegnare un valore di stazionarietà alle serie storiche è uno degli aspetti più delicati, in quanto a seconda del metodo statistico utilizzato si possono in effetti trarre conclusioni molto diverse tra loro.

Un altro argomento molto delicato riguardante l'analisi dei dati facenti parte di una serie storica è l'individuazione del trend.

L'analisi visuale della "linea di tendenza" ottenuta applicando il metodo della regressione lineare ad una serie storica data permette di cogliere l'andamento e la tendenza della serie limitando l'effetto di disturbo dovuto ad eventuali fluttuazioni di breve periodo; tuttavia esiste il costante rischio di lasciarsi forviare da tali andamenti elaborando veri e propri scenari climatici frutto più di fantasia che di reali tendenze del clima. Inoltre calcolando l' R^2 , ovvero il coefficiente di correlazione, è sì possibile valutare la prestazione della regressione individuando la percentuale di variabilità che il modello descrive, ma tale dato potrebbe non essere uguale su tutto il range delle osservazioni, cosa che si vede dalla distribuzione più o meno regolare dei residui, senza dimenticare inoltre che potrebbero esserci dei punti troppo influenti sul risultato.

Un primo metodo per evitare l'effetto di disturbo dovuti a fluttuazioni di breve periodo, è costituito dall'utilizzo della media mobile.

Tale problema è stato analizzato dettagliatamente da Seidel e Lanzante (2003) i quali hanno descritto altri 3 metodi alternativi rispetto alla semplice regressione lineare.

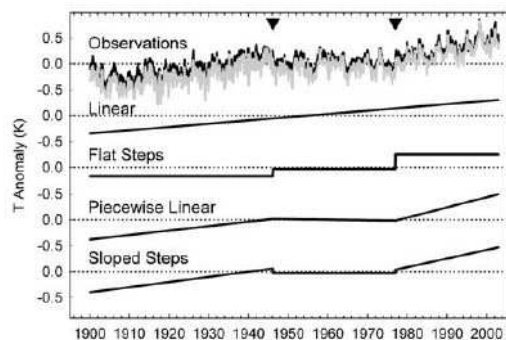


Figure 1. Global monthly surface temperature anomalies from the University of East Anglia (UEA (black)) and Global Historical Climatology Network (GHCN (grey)) data sets. Below the data are model fits to the average of the two data sets from four statistical models: linear, flat steps, piecewise linear, and sloped steps. The last three incorporate breakpoints, shown by the triangles at 1946 and 1977.

Figura 14: confronto fra 4 diversi metodi utilizzabili per interpolare linearmente una serie storica (nell'esempio l'anomalia termica media mensile della East Anglia University (in grigio) e quella della Global Historical Climatology Network (in nero)).

Gli autori con riferimento ad una serie storica che all'ispezione visuale mostra due breakpoints (discontinuità) di origine circolatoria, rispettivamente nel 1946 e nel 1977 (i triangoli della figura), giungono a proporre i seguenti modelli interpretativi:

1. modello a interpolante lineare (linear model)
2. modello a gradini (flat steps model) che presuppone l'alternanza di fasi stazionarie e di discontinuità
3. modello a piani inclinati (piecewise linear) che presuppone l'alternanza di fasi stazionarie e fasi con trend
4. modello a gradini inclinati (alternanza di fasi stazionarie e fasi con trend).

I modelli 2,3,4 tengono adeguatamente conto dei breakpoints intesi come transizioni brusche fra fasi stazionarie che si succedono l'una con l'altra e si rivelano dunque idonei a descrivere sistemi turbolenti come il clima (*Peixoto e Oort, 1992*). Infatti alle medie latitudini (e dunque in Europa) il cambiamento climatico procede raramente in modo graduale, mentre, di solito, si manifesta attraverso variazioni brusche, appunto le discontinuità o breakpoints, della frequenza e persistenza dei tipi di circolazione; tali variazioni si ripercuotono in modo immediato sulle diverse variabili al suolo (radiazione, temperatura regime pluviometrico ecc..) (*Mariani, 2006b*).

In particolare il modello a gradini descritto da Seidel e Lanzante si basa sull'esecuzione di un'analisi statistica delle discontinuità delle serie storiche, volta a individuare dei sottoperiodi o "fasi climatiche" ciascuna delle quali presenta una sufficiente stazionarietà della variabile considerata. Il valore medio calcolato su questi sottoperiodi è sicuramente più significativo di quello ottenuto dall'analisi dell'intera serie storica; inoltre la stessa applicazione di tecniche di analisi per l'individuazione di trend lineari all'interno dei sottoperiodi potrà sicuramente evidenziare trend "parziali" diversi, e paradossalmente anche di segno opposto come ben evidenziato dall'esempio di Toreti e Desiato (2007).

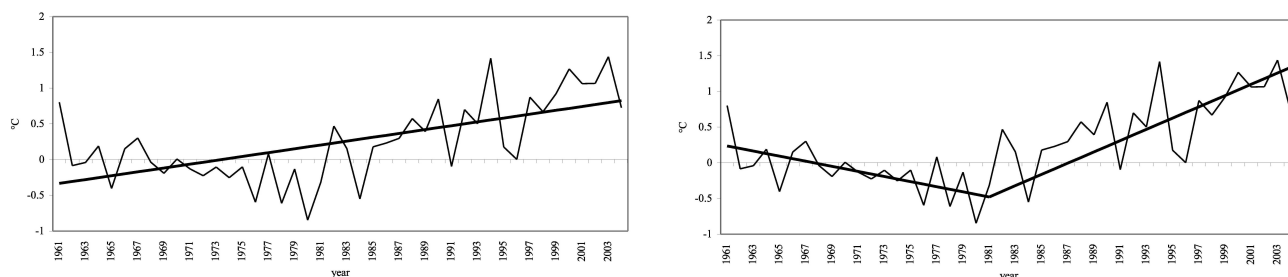


Figura 15: a sin: anomalie annuali della temperatura media in Italia (1961-2004) e modello lineare (linea spessa). A dx: anomalie annuali della temperatura media in Italia (1961-2004) e modello piecewise (linea spessa).

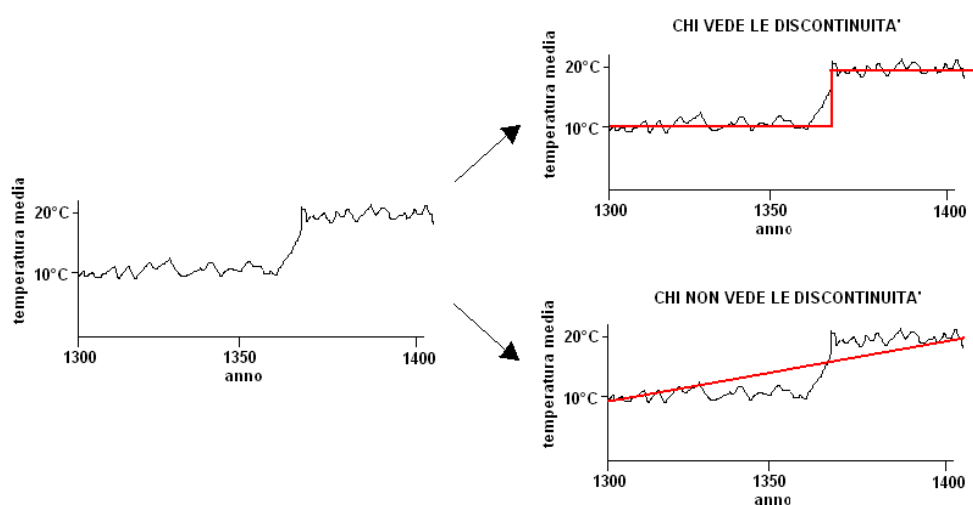


Figura 16: Diverso modo di leggere la stessa serie storica attraverso regressioni lineari e trascurando le discontinuità (Mariani, comunicazione personale).

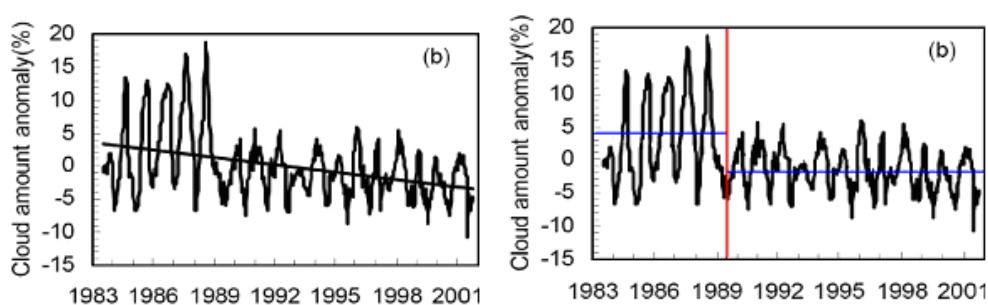


Figura 17: a sin: trend della copertura nuvolosa alle medie latitudini Atlantiche (Huang et al. 2006). A dx: Possibile punto di discontinuità della copertura nuvolosa alle medie latitudini Atlantiche

Prendiamo ora ad esempio il caso delle temperature massime medie annuali elaborate in questa tesi su nove stazioni di telemisura “storiche” dal periodo 1956-2004 nella regione Veneto. Il normale trend lineare, in questo caso altamente significativo ($p < 0.1$), individua un aumento di circa $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ogni 100 anni. Bisogna ricordare che solo se questo trend lineare si ripetesse per 100 anni si avrebbe un aumento di tale entità. La media mobile

quinquennale mette in evidenza invece le oscillazioni periodiche in aumento e diminuzione che si sono avute soprattutto nella prima parte del periodo considerato fino alla fine degli anni '80.

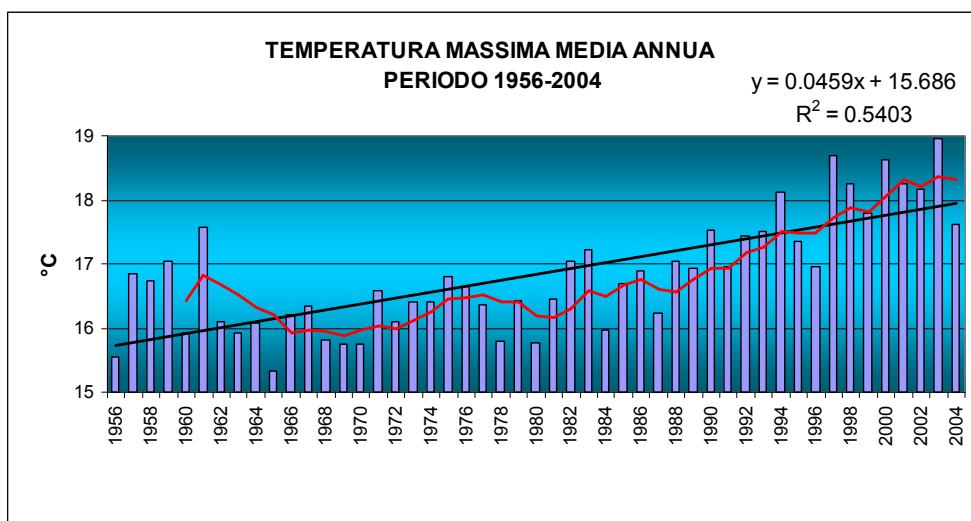


Figura 18: andamenti annui medi delle temperature massime nel periodo 1956-2004

Gli scarti rispetto alla media del periodo 1956-2004, insieme alla media mobile quinquennale in rosso, danno una ulteriore importante informazione visiva. Fino agli anni '80 le temperature medie hanno oscillato tra aumenti e diminuzioni; dagli anni '80 in avanti si nota una tendenza all'annullamento degli scarti che, dall'inizio degli anni '90, diventano costantemente positivi con un trend che si mantiene costante e senza importanti fluttuazioni.

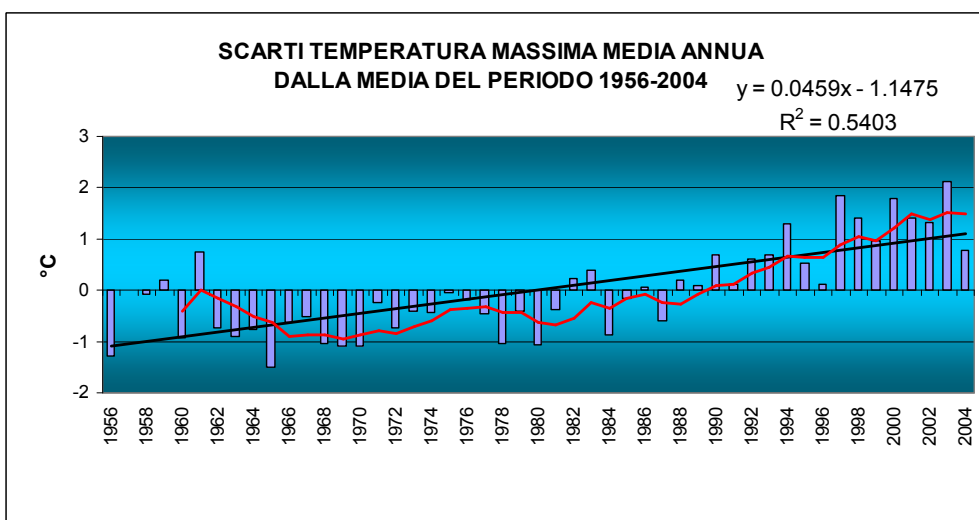


Figura 19: scarti delle temperature massime nel periodo 1956-2004 rispetto alla media del periodo

Effettuando un'analisi di discontinuità a flat steps con il metodo di Bai e Perron implementato nella libreria statistica STRUCCHANGE di R (Zeileis et al., 2003) è possibile individuare un punto di discontinuità e le due fasi climatiche conseguenti,

descritte da due valori medi diversi, dovute al diverso comportamento delle temperature massime.

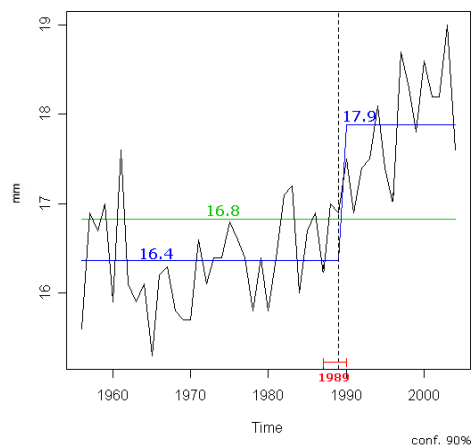


Figura 20: analisi di discontinuità flat steps, delle temperature medie massime annue nel periodo 1956-2004

Questa analisi mi informa di un punto di discontinuità verificatosi intorno al 1989 (l'anno più probabile di accadimento è il 1989 mentre con una confidenza del 90 % il punto ricade fra 1988 e 1990 – linea orizzontale rossa del grafico); tale discontinuità delimita due sottoperiodi (pre e post 1989) rispettivamente con tmax media di 16.4 a 17.9°C, a fronte di una tmax media del periodo pari a 16.8°C.

L'analisi visiva di un grafico di discontinuità a flat steps previene l'uso indebito del grafico in termini di estrapolazione anche inconscia di scenari previsionali futuri, i quali sono resi quanto mai incerti perché breakpoints sul tipo di quello del 1989 sono impossibili da prevedere (*Lockwood, 2002*). Inoltre, nella fase di passaggio da un flat step all'altro, si evidenziano dei trend che non possono essere estrapolati per periodi lunghi, in quanto la dinamica di evoluzione del sistema non è lineare e la durata dei periodi di trend positivo o negativo non sono definibili a priori. L'analisi di discontinuità a flat steps permette di definire i livelli di normali climatiche ante e post breakpoint e la differenza tra le due normali va intesa come il livello minimo cautelativo tra i due sottoperiodi considerati. In questo caso tale differenza è pari a 1.5°C.

L'informazione relativa all'anno di più probabile accadimento della discontinuità permette di approfondire ulteriormente i primi due grafici producendone un terzo che racchiude l'informazione dei trend lineari relativi ai due sottoperiodi individuati. E' così interessante verificare come il trend lineare significativo che descrive l'aumento delle tmax in realtà si presenta solo dopo il 1989 ed inoltre il trend in questo caso è ovviamente molto più forte e pari a circa 8.8 °C secolo. Chi volesse fare dell'allarmismo gratuito avrebbe buon gioco nella lettura forzata di questo grafico, ma questo esempio rende bene l'idea come la lettura dei grafici, considerando diversi sottoperiodi o "fasi climatiche", può dare origine a considerazioni molto diverse.

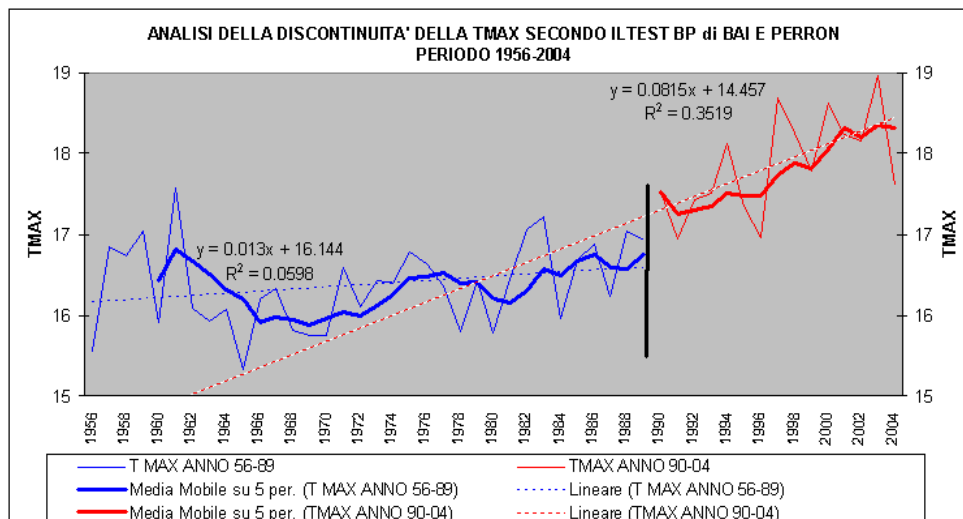


Figura 21: analisi dei trend relativi ai sottoperiodi individuati con l'analisi flat-steps di B e P.

Rimane comunque l'interesse di definire l'inizio di cambiamento del trend all'interno di una serie storica. Questo può essere fatto con un'analisi con il metodo piecewise regression, che permette di identificare il momento di inizio del trend di cambiamento ed il suo tasso medio nella fase di variazione climatica. Si ribadisce comunque che il trend non può essere esteso al di fuori della finestra temporale considerata. Applicando tale metodo si individua il punto di inizio del cambiamento di trend, in questo caso il 1980. Si ottengono due rette di regressione lineare che minimizzano gli scarti prima e dopo il 1980. Nell'elaborazione effettuata con il test BP di Bai e Perron (flat steps) è possibile individuare invece sottoperiodi, o meglio "normali climatiche", i cui valori medi minimizzano gli scarti, in questo caso, prima e dopo il 1989.

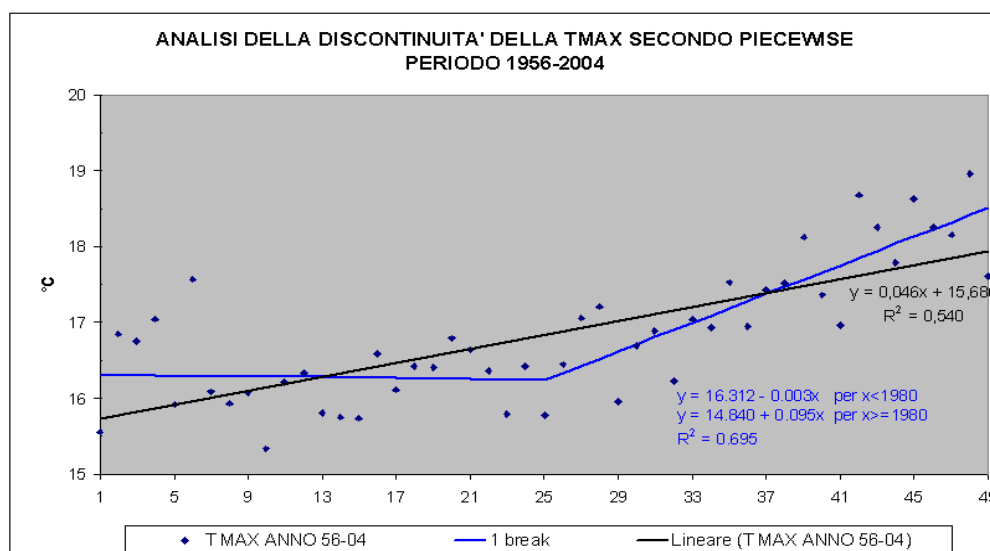


Figura 22: analisi di discontinuità piecewise, delle temperature medie massime annue nel periodo 1956-2004

Senza entrare nel merito di scenari di "impossibilità previsionale di eventi potenzialmente catastrofici" in un periodo già a sufficienza funestato da previsioni di catastrofi climatiche, è certo che per l'elaborazione di scenari previsionali di lungo periodo riferiti ad un sistema

turbolento caratterizzato da repentini cambiamenti di fase, tutte le informazioni utili devono essere prese in considerazione. In tal senso lo studio dei pattern circolatori propri della circolazione atlantica (più interessanti per noi europei) e di quella pacifica (che coinvolgono più direttamente gli americani) potrebbe aiutarci a conoscere meglio i meccanismi che regolano il cambiamento di fase del vortice polare nell'emisfero boreale.

Dallo studio della circolazione atmosferica e della sua variabilità temporale sono state elaborate interessanti definizioni di cambiamento climatico alle medie latitudini come brusco e improvviso ("abrupt" in lingua inglese) cambiamento di frequenza e persistenza dei tipi circolatori (*Sneyers et al., 1993*). Alcuni autori si sono spinti ad affermare che i cambiamenti climatici, essendo relativi ad un sistema complesso di tipo caotico e regolato da feedbacks in competizione e di entità sconosciuta, procedono spesso non tanto attraverso graduali modificazioni ma attraverso discontinuità (salti-breakpoints-shifts) da un regime circolatorio atmosferico a un altro (*Bryson, 1974; Lockwood, 2001*) il che rende la previsione climatica irta di ostacoli e spesso impraticabile (*Rial, 2004*). A prescindere dal pessimismo previsionale, lo strumento dell'analisi statistica delle discontinuità potrebbe essere di grande utilità in sede di analisi storica dei bruschi cambiamenti di fase dei tipi circolatori atmosferici e delle conseguenze sulle serie storiche di variabili meteorologiche al suolo.

1.4.1. Esempi di analisi di discontinuità

Nel presente lavoro di dottorato l'analisi statistica è stata condotta con il software statistico di pubblico dominio R (<http://cran.r-project.org>). L'individuazione dei punti di discontinuità, change points, o ancora breakpoints, è stata condotta utilizzando l'algoritmo presente nella libreria STRUCCHANGE di R e descritto in (*Zeileis et al., 2003*). Tale algoritmo, ascrivibile ai flat steps models, si fonda sul metodo di stima delle discontinuità in modelli di regressione su serie storiche descritto in Bai (1994) ed esteso all'individuazione simultanea di change points multipli (*Bai, 1997a,b; Bai e Perron, 1998*). La funzione di distribuzione utilizzata per gli intervalli di confidenza è descritta in Bai (1997b).

Si riportano alcuni grafici di analisi di discontinuità eseguiti con il test BP di Bai e Perron, implementato in R nella libreria STRUCCHANGE, relativa a dati meteo di precipitazione, temperature (Hadley Centre, Karlsruhe, Bordeaux, Valley), n° giorni di Föhn (Canton Ticino), proxy data fenologici (fioritura ciliegio in Svizzera, fioritura sambuco in Olanda, germogliamento quercia in Gran Bretagna), proxy data circolatori (NAO). Da queste elaborazioni si evidenzia la stabilità del clima europeo fino all'inizio degli anni '70 e un importante cambio di fase dei regimi termometrici soprattutto a metà degli anni '80, descritto da Werner come caratterizzato dal cambio delle grandi correnti occidentali (*Werner et al. 2000*).

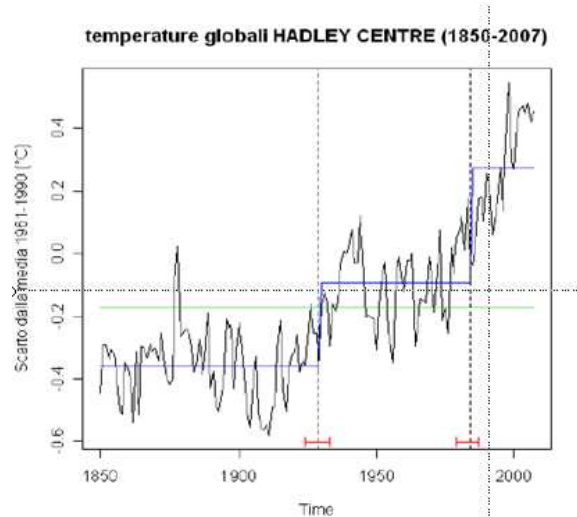


Figura 23: scarti temperature globali dalla media 1961-1990
periodo 1850 -2007

anno più probabile di discontinuità=1929, 1984

periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 90%: 1924-1933, 1979-1987

fonte: www.cru.uea/cru/data/temperature

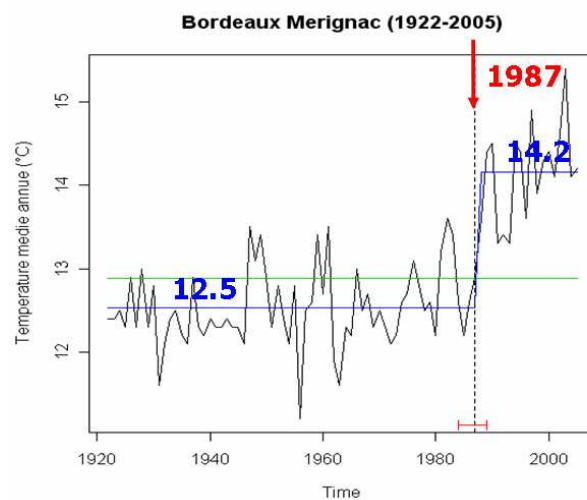


Figura 24: temperature medie annue a Bordeaux Merignac (F)
Periodo 1922-2005

anno più probabile di discontinuità=1987

periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 99%: 1984-1989

fonte: dataset ECAD

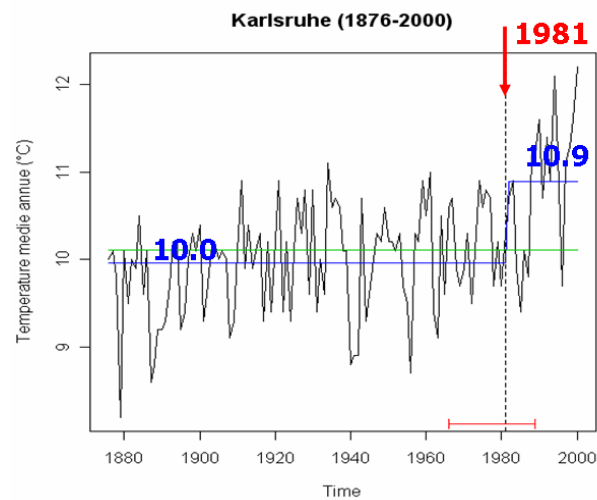


Figura 25: temperature medie annue a Karlsruhe (D)
Periodo 1876-2000

anno più probabile di discontinuità=1981

periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 99%: 1984-1989

fonte: dataset ECAD

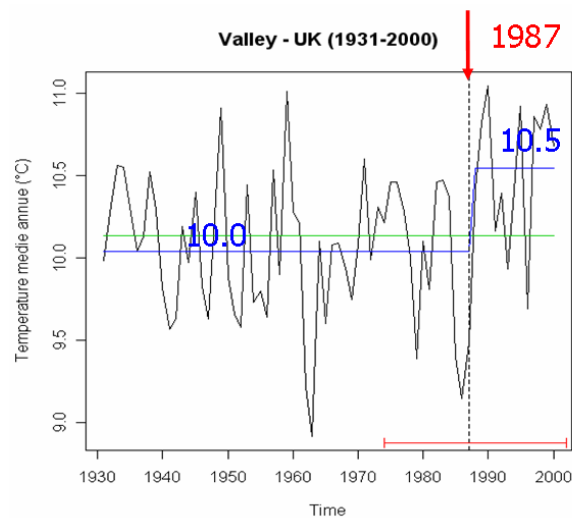


Figura 26: temperature medie annue a Valley – (GB)
Periodo 1931-2000

anno più probabile di discontinuità=1987

periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 99%: 1974-2000

fonte: dataset ECAD

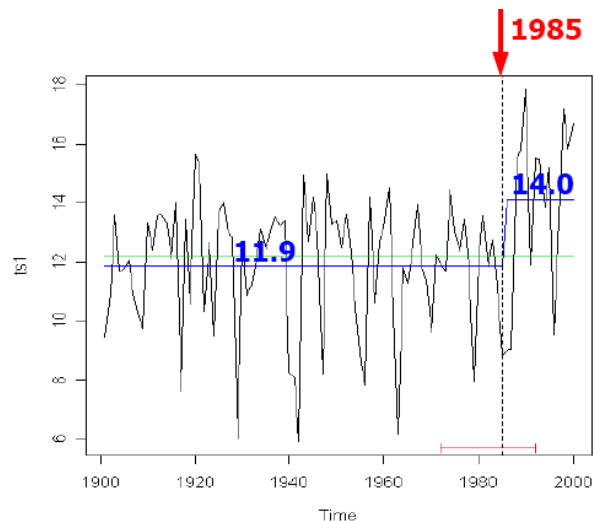


Figura 27: temperature medie dei primi 150 gg dell'anno a De Bilt (Olanda)
 Periodo 1901-2000
 anno più probabile di discontinuità=1985
 periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 90%: 1972-1992
 fonte: *Van Vliet et al., 2002*

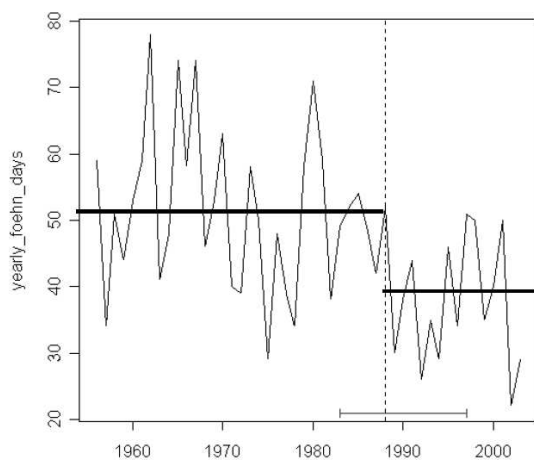


Figura 28: numero annuo di giorni di föhn a Locarno-Monti (CH)
 Periodo 1956-2003
 anno più probabile di discontinuità=1988
 periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 95: 1983-1997
 fonte: *Ambrosetti et al., 2005*

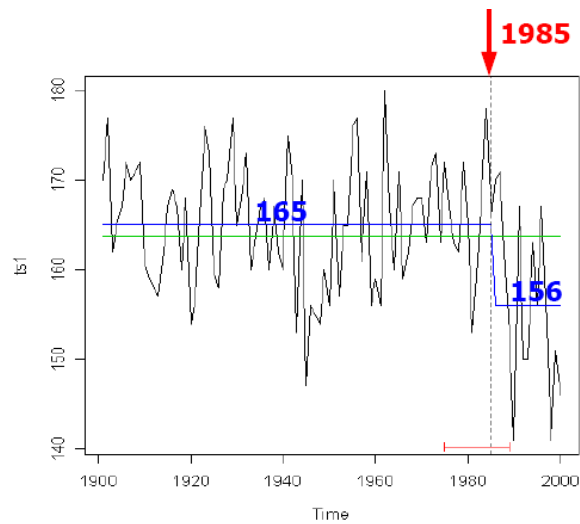


Figura 29: giorno di fioritura del sambuco a De Bilt (Olanda).
 anno più probabile di discontinuità=1985
 periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 90%: 1975-1989
 fonte: *Van Vliet et al., 2002*

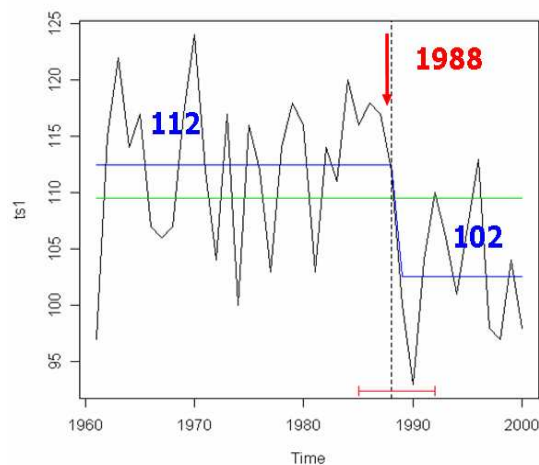


Figura 30: inizio della stagione vegetativa in Germania
 (fruit trees and field crops)
 anno più probabile di discontinuità=1988
 periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 90%: 1988-1992
 fonte: *Chmielewski et al., 2004*

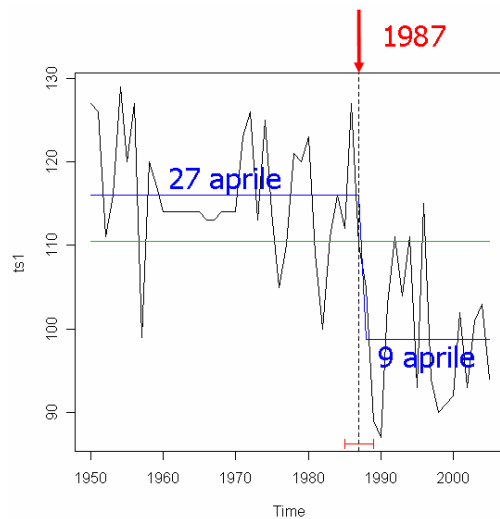


Figura 31: germogliamento quercia in Gran Bretagna
 Periodo 1950-2005
 anno più probabile di discontinuità= 1987
 periodo in cui ricade la discontinuità, con un livello di confidenza del 99%: 1985-1989
 fonte: *Maracchi e Baldi, 2006 comunicazione personale*

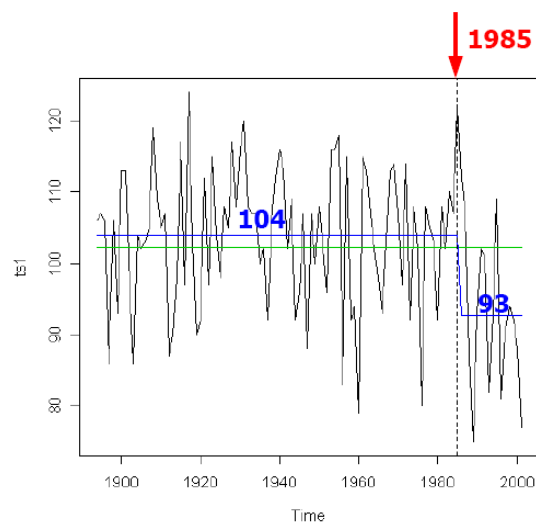


Figura 32: data di inizio fioritura ciliegio a Liestal (CH)
 periodo 1894-2001
 anno più probabile di discontinuità= 1985
 al 90% di probabilità la discontinuità ricade fra 1977 e 1991
 fonte: Switzerland's Fourth National Communication under the UNFCCC -
 First National Communication under the Kyoto Protocol to the UNFCCC 2005, Swiss Confederation)

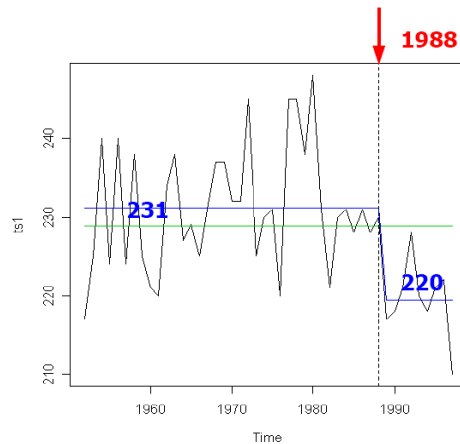


Figura 32bis: data di invaiatura a Bordeaux
periodo 1952-1997
anno più probabile di discontinuità= 1988
al 90% di probabilità la discontinuità ricade fra 1987 e 1992
fonte: *Jones e Davis (2000)*

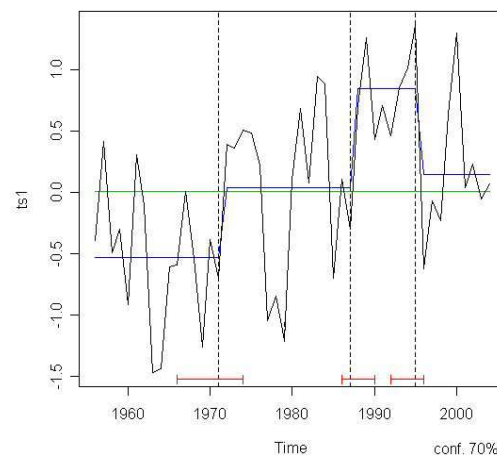


Figura 33: 3 punti discontinuità del NAO invernale
periodo 1956-2004
anni più probabile di discontinuità= 1971, 1987, 1995
80% di confidenza
fonte: dati NOAA elaborati

Da notare in Figura 33 come vengano individuati i punti di discontinuità degli anni '70 e fine anni '80, che hanno registrato rispettivamente l'inizio dell'incremento del NAO che da negativo si porta su valori leggermente positivi, e il forte incremento del 1987 su valori ampiamente. Werner (2000) individua all'inizio degli anni 70 ed alla fine degli anni 80 rispettivamente l'inizio e l'instaurazione della nuova fase climatica che ha influenzato l'Europa.

Scheifinger (*Scheifinger e. al. 2002*) indica la fine degli anni '80 come quelli durante i quali l'andamento del NAO è fortemente correlato con gli anticipi fenologici della fioritura e germogliamento a livello europeo di molte colture arboree quali rispettivamente *Corylus avellana* (nocciolo) e *Larix decidua* (larice)

1.5. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SISTEMA CIRCOLATORIO

L'elemento cruciale che caratterizza la circolazione atmosferica del nostro pianeta (Houghton, 2002) è la circolazione globale a tre celle, con la cella di Hadley che agisce come cella termica diretta, con l'aria calda che sale all'equatore e ricade ai tropici. In natura tuttavia tale cella non è stabile perché la Terra ruota, dando così origine alla cosiddetta forza deviante di Coriolis, per la cui azione la cella si spezza in tre celle: la cella equatoriale in cui l'aria sale all'equatore per ricadere a 30° di latitudine, la cella delle medie latitudini (cella di Ferrel) in cui l'aria sale a 60° di latitudine per ricadere anch'essa a 30° di latitudine e la cella artica (cella Polare) in cui l'aria sale a 60° di latitudine per ricadere al polo.

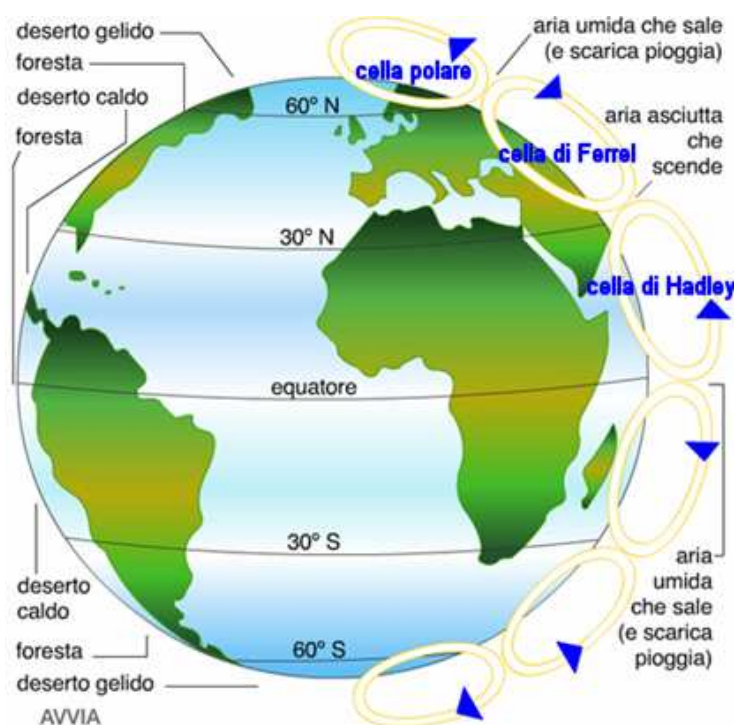


Figura 34: circolazione globale a tre celle
Fonte: Maracchi (comunicazione personale)

La zona di subsidenza posta a 30° di latitudine costituisce la fascia degli anticycloni dinamici subtropicali, il cui rappresentante a noi più noto è l'anticiclone delle Azzorre, mentre la zona di assurgenza a 60° di latitudine costituisce la fascia dei cicloni dinamici delle latitudini medio-alte cui appartiene il cosiddetto ciclone d'Islanda (Mariani, 2006c).

L'interfaccia tra le masse d'aria fredda delle alte latitudini e le masse più calde delle medie latitudini, il cosiddetto fronte polare, è zona di genesi di nuove perturbazioni e si mantiene nel tempo grazie all'energia del robusto jet del fronte polare, di norma localizzato all'interno delle westerlies alla quota di circa 300 hPa (Georgiadis, Mariani, 2006b).

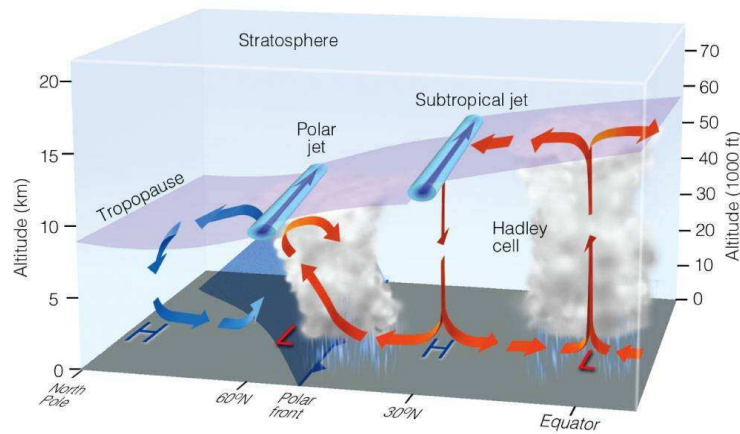


Figura 35: sezione della circolazione globale a tre celle nell'emisfero nord
Fonte: Thomson Higher Education 2007

Da osservare infine che se collocati su una mappa centrata sul polo, le westerlies, il jet polare ed il fronte polare delimitano un enorme vortice, il grande vortice polare, sul cui sinuoso margine esterno corrono le perturbazioni dal cui tracciato dipende in larga misura il clima delle medie latitudini del pianeta.

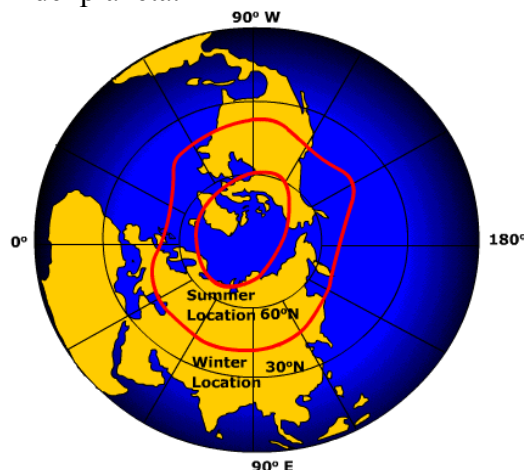


Figura 36: grande vortice polare e posizioni medie che assume il margine esterno (fronte polare) in inverno ed in estate

www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/weather_systems/fronts.html

1.5.1. Clima del Veneto, masse d'aria e tipi circolatori

Il clima del Veneto dipende dalla vicinanza di importanti regioni sorgenti di masse d'aria con caratteri peculiari:

- il Mediterraneo, fonte di masse d'aria umida e mite in tutte le stagioni;
- l'Oceano Atlantico, fonte di masse d'aria umida e relativamente mite (aria polare marittima) che tuttavia risulta sempre più fredda rispetto a quella mediterranea; ciò si rivela cruciale per la formazione di perturbazioni, in forma di sistemi frontali e vortici, particolarmente frequenti nel periodo che va dall'autunno alla primavera; inoltre, nel periodo estivo, le irruzioni di aria atlantica nella media troposfera attraverso le Alpi danno luogo ad una vivace attività temporalesca;

- la massa continentale eurasiatica, sorgente di masse d'aria polare continentale che è particolarmente fredda ed asciutta in inverno ed il cui ingresso in Italia attraverso la “porta di Trieste” dà luogo al fenomeno della bora;
- la zona artica che in tutte le stagioni è fonte di masse d'aria fredda;
- la fascia subtropicale, fonte di masse d'aria torrida e che tende a umidificarsi passando sul Mediterraneo.

Le sopra elencate masse d'aria giungono ad influenzare sensibilmente il clima del Veneto in virtù delle strutture circolatorie atmosferiche che ne determinano l'apporto, le più importanti delle quali sono:

1. gli anticiclone dinamici (si rammentano qui l'anticiclone delle Azzorre, il cui stabile ingresso sul Mediterraneo segna l'affermarsi di condizioni estive, ed i promontori anticiclonici africani, responsabili della maggior parte delle ondate di caldo che interessano l'area italiana);
2. gli anticiclone termici ed in particolare l'anticiclone russo – siberiano, il cui espandersi verso il Mediterraneo nel periodo invernale coincide con le grandi irruzioni di gelida aria polare continentale (monsone invernale europeo);
3. le saccature atlantiche, depressioni a forma di V il cui transito è più frequente nei mesi autunnali, invernali e primaverili. La disposizione di tali strutture (orientamento dell'asse, estensione verso sud, ecc.) determina le aree e i versanti più esposti ai fenomeni;
4. le depressioni mobili del Mediterraneo, innescate dall'irruzione di masse d'aria fredda da aree esterne al bacino. Fra queste ricordiamo le depressioni del Golfo di Genova innescate in prevalenza dal transito di saccature atlantiche e la cui traiettoria le porta nella maggioranza dei casi ad transitare sulla Valpadana con traiettoria verso est-sudest, interessando in modo diretto l'area in esame.

In tale contesto dinamico gioca un ruolo fondamentale la catena alpina che agisce sulla circolazione atmosferica alterandola profondamente. Ad esempio le Alpi intercettano l'umidità dalla circolazione dando luogo ad intensificazioni orografiche sui versanti sopravvento (stau) e ad attenuazione delle precipitazioni sottovento (foehn).

1.5.2. Climatologia dinamica della Regione Veneto

Approfondendo la descrizione della climatologia dinamica che influenza il clima Veneto, bisogna ricordare che la nostra regione è inclusa in quella fascia di latitudine in cui dominano gli effetti dell'Anticiclone delle Azzorre: l'area di alta pressione al centro dell'oceano Atlantico, quasi alla stessa latitudine del bacino Mediterraneo, determinata dalla presenza di acque oceaniche più fredde, contornate dalle correnti calde, quali la Corrente del Golfo e la Corrente Equatoriale del Nord.

Estate

D'estate, quando l'Anticiclone si estende, la regione entra nella zona delle alte pressioni. La prima conseguenza è che vengono a cessare i venti dominanti e a stabilirsi venti locali, quali le brezze. La seconda riguarda il regime delle precipitazioni, che possono essere solo di origine termoconvettiva (a carattere temporalesco) tipicamente nelle ore centrali della giornata, quando il contenuto di vapore è in quantità sufficiente a raggiungere la saturazione durante la risalita convettiva delle bolle d'aria riscaldate a contatto col suolo

caldo. Nella fascia costiera la temperatura inferiore del mare nelle ore centrali della giornata tende a stabilizzare le masse d'aria e ad impedire lo sviluppo di celle temporalesche. Al contrario, nella fascia più continentale, particolarmente umida per la ricchezza d'acqua e di vegetazione, le masse d'aria vengono sia abbondantemente umidificate dal basso sia sufficientemente riscaldate dal suolo per dare luogo a precipitazioni termoconvettive. Negli ultimi anni. Negli ultimi anni è frequente anche la presenza di promontori dal Nord Africa che nel nel 2003 crearono stabili condizioni di caldo torrido.

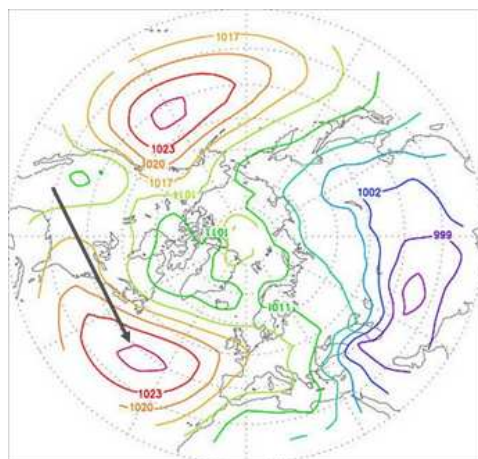


Figura 37: configurazione estiva dell'Anticiclone delle Azzorre
Fonte: Centro meteo di Teolo (ARPAV)

Inverno

D'inverno, l'anticiclone delle Azzorre riduce la propria zona d'influenza e la distribuzione del campo barico porta masse d'aria marittima polare con i venti occidentali che talvolta trasportano perturbazioni Atlantiche; o venti settentrionali con masse d'aria di origine artica, che perdendo generalmente l'umidità come precipitazioni sul versante settentrionale della catena alpina, determinano gli episodi di föhn, vento caldo e secco che, incanalandosi nelle valli arriva a velocità elevate porta bruschi aumenti della temperatura; talvolta sfociano con violenza anche masse d'aria polare continentale, fredda e secca che portano agli episodi di 'bora chiara'. Tuttavia, il promontorio di alta pressione che si stabilisce sull'Europa, congiungendo l'Anticiclone delle Azzorre con l'Anticiclone continentale Russo - Siberiano (che si forma nell'inverno per il raffreddamento delle grandi superfici continentali) costituisce un blocco alle perturbazioni che scendono da nord e provoca la mancanza di precipitazioni nel cuore dell'inverno.

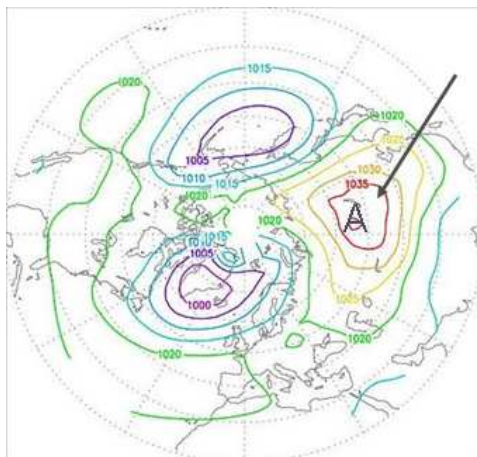


Figura 38: configurazione invernale dell'Anticiclone continenatale Russo-Siberiano
Fonte: Centro meteo di Teolo (ARPAV)

Primavera- Autunno

Nelle stagioni intermedie, quando l'Anticiclone delle Azzorre non si è ancora ben sviluppato o sta regredendo e manca l'anticiclone Russo - Siberiano, le perturbazioni atlantiche non trovano alcun impedimento ad invadere la regione portando piogge abbondanti, particolarmente nel periodo autunnale.

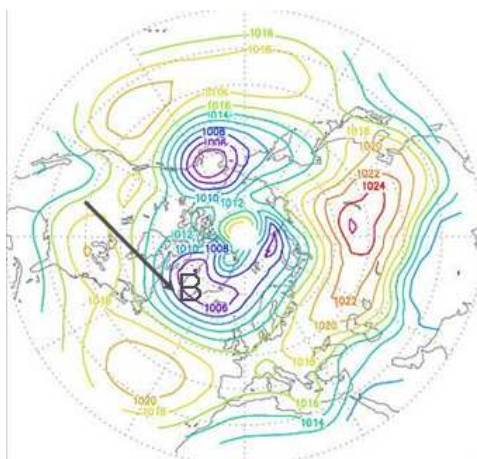


Figura 39: configurazione primaverile o autunnale del Ciclone d'Islanda
Fonte: Centro meteo di Teolo (ARPAV)

1.5.3. Il clima del territorio veneto

Tutti questi elementi concorrono a generare il clima del Veneto, che pur rientrando nella tipologia mediterranea, presenta proprie peculiarità, dovute principalmente al fatto di trovarsi in una posizione climatologicamente di transizione e quindi subire varie influenze: l'azione mitigatrice delle acque mediterranee, l'effetto orografico della catena alpina e la continentalità dell'area centro-europea. In ogni caso mancano alcune delle caratteristiche tipicamente mediterranee quali l'inverno mite (in montagna, ma anche nell'entroterra, prevalgono effetti continentali) e la siccità estiva a causa dei frequenti temporali di tipo termoconvettivo. Si distinguono invece le peculiari caratteristiche termiche e pluviometriche della regione alpina con clima montano di tipo centro-europeo e il carattere continentale della Pianura Veneta, con inverni rigidi. In quest'ultima regione climatica si

differenziano due subregioni a clima più mite: quella lacustre nei pressi del Lago di Garda, più limitata, e quella litoranea della fascia costiera adriatica.

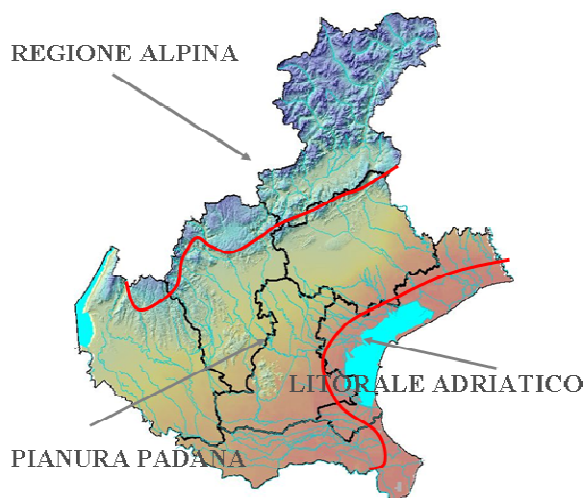


Figura 40: sub regioni climatiche della Regione Veneto
Fonte: Centro meteo di Teolo (ARPAV)

La Regione Alpina

Il clima della regione alpina, di tipo continentale con forti escursioni diurne e piogge piuttosto abbondanti, è condizionato dall'altitudine e dall'esposizione, che variano fortemente da luogo a luogo. La temperatura non è governata solo dalla normale diminuzione con la quota. Infatti a questa si associa anche il fenomeno dell'inversione termica, per cui l'aria più fredda e quindi più pesante tende a raccogliersi a fondovalle, specialmente durante l'inverno. L'aria più rarefatta e trasparente determina una intensa radiazione globale che nel periodo estivo è causa di una maggiore nuvolosità rispetto alla pianura, per lo sviluppo di cumuli di origine termoconvettiva che spesso portano precipitazioni sotto forma di locali rovesci. L'inverno è caratterizzato da maggiore serenità. La neve che permane a lungo a quote più elevate prolunga il periodo invernale.

Il Litorale Adriatico

Il litorale adriatico è influenzato nelle sue caratteristiche dalla vicinanza al mare, la cui influenza e i cui venti umidi e le brezze penetrano abbastanza nell'interno del territorio. L'azione mitigatrice delle acque è comunque limitata, in quanto da una parte si è in presenza di un mare interno, stretto e poco profondo, dall'altra dalla loro posizione, in grado di mitigare solo le masse d'aria provenienti dai settori sud-orientale e orientale. Così le temperature invernali, pur mitigate, risultano comunque basse, in particolare per le incursioni della bora, fredda e asciutta da NE. L'alternanza delle brezze nella fascia litoranea è tipica del periodo caldo in situazioni prevalentemente anticicloniche, quando l'assenza di correnti di circolazione generale attiva le circolazioni locali dovute alle discontinuità termiche fra mare e terra. Durante il giorno si sviluppa la brezza di mare che raggiunge la massima intensità nelle ore pomeridiane e soffia generalmente da SE. La brezza notturna, che generalmente soffia da NE, non è perpendicolare alla costa come normalmente accade, ma ad essa parallela, poiché l'interazione avviene a scala più ampia fra la catena alpina e il Mare Adriatico.

La Pianura Veneta

Nella Pianura Veneta prevale un notevole grado di continentalità con inverni rigidi ed estati calde. Ma il dato più caratteristico è l'elevata umidità, specialmente sui terreni irrigui, che rende afosa l'estate e dà origine a nebbie frequenti e fitte durante l'inverno. Le precipitazioni sono distribuite abbastanza uniformemente durante l'anno, ad eccezione dell'inverno che risulta la stagione più secca: nelle stagioni intermedie prevalgono le perturbazioni atlantiche, mentre in estate vi sono temporali assai frequenti e spesso grandinigeni. Prevale in inverno una situazione di inversione termica, accentuata dalla ventosità limitata, con accumulo di aria fredda in prossimità del suolo. Sono allora favoriti l'accumulo dell'umidità che dà luogo alle nebbie e la concentrazione degli inquinanti rilasciati al suolo che arrivano di frequente a valori elevati nelle aree urbane. (ARPAV, 2000).

2. MATERIALI E METODI

2.1. ORIGINE DELLA SERIE STORICA 1956-2004

I dati storici giornalieri di temperatura minima e massima e precipitazioni utilizzati nel presente studio provengono per la maggior parte da stazioni dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia (poi Servizio idrografico e Mareografico Nazionale- MA-), la cui gestione è stata recentemente trasferita alle regioni. La rete di stazioni meccanico-manuale del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale operativa dall'inizio del XX secolo, ha garantito per il Triveneto il monitoraggio termo-pluviometrico con buona continuità temporale e spaziale fondamentale per la realizzazioni di serie storiche utilizzabili ai fini della descrizione degli andamenti climatici del territorio.

Il recupero di tali dati è consistito nella digitalizzazione dagli originali supporti cartacei (Annali Idrologici), al fine di consentire l'applicazione di moderne tecniche di descrizione ed analisi, ed ha permesso la stesura di un primo documento, con trenta anni di osservazioni relativo al periodo 1961-1990, punto di partenza di questo studio di dottorato (*Bonini Baraldi, 1993*). La disponibilità dei dati di precipitazione e temperatura giornalieri provenienti anche da altre fonti (Aeronautica Militare -AM-, ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo ed altri Istituti quali l'ITAV di Conegliano), ha permesso la costituzione, presso il Centro Meteo di Teolo, di un archivio omogeneo di dati informatizzati relativo al periodo 1956-2004 per 9 stazioni termometriche e per 49 stazioni pluviometriche. A tal fine sono state adottate tecniche di ricostruzione del dato mancante di precipitazione utilizzando le stazioni vicine (<5Km) o la media ponderata (inverso della distanza) calcolata con le stazioni più vicine (2-4 stazioni <30Km). Anche per le temperature giornaliere mancanti è stata effettuata la ricostruzione con il metodo della regressione lineare dei dati della stazione più vicina o correlata (meccanica o automatica). Globalmente per realizzare questa analisi storica sono stati utilizzati complessivamente circa 1.200.000 dati giornalieri di precipitazione, temperature minime e temperature massime.

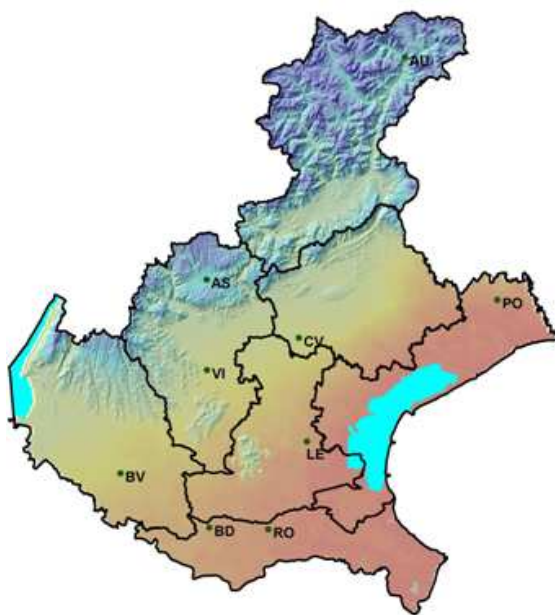


Figura 41. Distribuzione delle 9 stazioni termometriche meccaniche utilizzate

Tabella. 1: stazioni termometriche meccaniche utilizzate

STAZIONE	TARGA	FONTE	PROV	QUOTA	LAT.	LONG.	x	y
ASIAGO	AS	M.A.	VI	1046	45° 53'	11° 30'	1696146	5082296
AURONZO	AU	M.A.	BL	864	46° 34'	12° 26'	1765601	5159862
BADIA POLESINE	BD	M.A.	RO	11	45° 06'	11° 29'	1697129	4995764
BOVOLONE	BV	I.S.T	VR	24	45° 16'	11° 07'	1666005	5014669
CASTELFRANCO V.	CV	M.A.	TV	44	45° 41'	11° 56'	1728503	5061905
LEGNARO	LE	M.A.	PD	10	45° 21'	11° 58'	1731320	5025785
PORTOGRUARO	PO	M.A.	VE	6	45° 47'	12° 50'	1798002	5075223
ROVIGO	RO	M.A.	RO	7	45° 04'	11° 47'	1717758	4995166
VICENZA (A.M.)	VI	A.M./M.A.	VI	53	45°35'	11°31'	1696285	5050754

**Figura 42.** Distribuzione delle 49 stazioni pluviometriche meccaniche utilizzate**Tabella 2:** stazioni pluviometriche meccaniche utilizzate

STAZIONE	TARGA	FONTE	PROV.	QUOTA	LAT.	LONG.	x	y
AGORDO	AG	M.A.	BL	611	46° 17'	12° 02'	1733630	5129925
ANDRAZ	AZ	M.A.	BL	1520	46° 29'	11° 59'	1729372	5152693
ARSIE'	AR	M.A.	BL	314	45° 59'	11° 45'	1713636	5095837
ASIAGO	AS	M.A.	VI	1046	45° 53'	11° 30'	1696146	5082296
AURONZO	AU	M.A.	BL	864	46° 34'	12° 26'	1765601	5159862
BADIA POLESINE	BD	M.A.	RO	11	45° 06'	11° 29'	1697129	4995764
BASSANO DEL GRAPPA	BG	M.A.	VI	129	45° 47'	11° 44'	1712028	5071535
BOCCAFOSSA	BC	M.A.	VE	2	45° 39'	12° 45'	1791629	5063415
BOTTI BARBARIGHE	BB	M.A.	RO	7	45° 07'	12° 01'	1737849	5000246
BOVOLENTA	BN	M.A.	PD	7	45° 16'	11° 55'	1730014	5017814
BOVOLONE	BV	I.S.T	VR	24	45° 16'	11° 07'	1666005	5014669
CA' PASQUALI	PQ	M.A.	VE	2	45° 28'	12° 29'	1772584	5040006
CASTELFRANCO VENETO	CV	M.A.	TV	44	45° 41'	11° 56'	1728503	5061905
CASTELMASSA	CM	M.A.	RO	12	45° 01'	11° 18'	1681178	4987290
CAVANELLA MOTTE	CE	M.A.	VE	1	45° 07'	12° 14'	1754616	5001793
CENCENIGHE	CN	M.A.	BL	773	46°22'	11°58'	1728147	5138990
CHIES D'ALPAGO	CI	M.A.	BL	705	46° 10'	12° 23'	1761146	5118054

CISMON DEL GRAPPA	GR	M.A.	VI	205	45°56'	11°43'	1711812	5088542
CONCORDIA SAGITTARIA	CC	M.A.	VE	5	45° 46'	12° 50'	1801485	5068238
CONEGLIANO	CG	I.T.A.V.	TV	83	45° 53'	12° 17'	1754728	5086125
CONETTA	CT	M.A.	VE	4	45° 11'	12° 00'	1735374	5006799
CORTELLAZZO	CR	M.A.	VE	1	45° 31'	12° 40'	1785737	5048983
CORTINA D' AMPEZZO	CZ	M.A.	BL	1275	46° 32'	12° 08'	1740232	5158003
CROSARA	CS	M.A.	VI	417	45° 47'	11° 36'	1785660	5061622
CURTAROLO	CU	M.A.	PD	19	45° 32'	11° 50'	1721405	5044837
FORTOGNA	FT	M.A.	BL	435	46° 14'	12° 17'	1753953	5125402
GOSALDO	GO	M.A.	BL	1141	46°14'	11°57'	1727417	5124127
ISOLA VICENTINA	IV	M.A.	VI	80	45° 38'	11° 26'	1690494	5055703
LA GUARDA	LG	M.A.	BL	605	46° 07'	11° 56'	1727510	5112548
LANZONI (CAPO SILE)	LA	M.A.	VE	2	45° 34'	12° 30'	1773603	5052343
LEGNARO	LE	M.A.	PD	10	45° 21'	11° 58'	1731320	5025785
PORTOGRUARO	PO	M.A.	VE	6	45° 47'	12° 50'	1798002	5075224
RECOARO	RE	M.A.	VI	445	45° 42'	11° 12'	1672791	5063584
ROSARA DI CODEVIGO	RC	M.A.	PD	3	45° 18'	12° 06'	1745407	5021101
ROVIGO	RO	M.A.	RO	7	45° 04'	11° 47'	1717758	4995166
S. ANTONIO DI TORTAL	SR	M.A.	BL	513	46° 02'	12° 10'	1745010	5102549
S. CROCE DEL LAGO	SL	M.A.	BL	409	46° 06'	12° 19'	1756413	5113827
S. DONA' DI PIAVE	SD	M.A.	VE	4	45° 38'	12° 34'	1777818	5059011
SADOCCA	SA	M.A.	RO	2	45° 03'	12° 20'	1762450	4993826
SCHIO	SC	M.A.	VI	234	45° 43'	11° 21'	1688234	5065210
SOAVE	SV	M.A.	VR	40	45° 25'	11° 15'	1675646	5032171
STRA	ST	M.A.	VE	8	45°25'	12°00'	1735439	5032993
THIENE	TH	M.A.	VI	147	45° 43'	11° 28'	1692096	5063506
TONEZZA	TO	M.A.	VI	935	45° 52'	11° 10'	1681234	5081869
VALDOBBIADENE	VA	M.A.	TV	280	45° 54'	12° 00'	1732050	5086712
VENEZIA IST.CAVANIS	WE	M.A.	VE	20	45° 25'	12° 19'	1760365	5036127
VICENZA (A.M.)	VI	A.M.	VI	53	45°35'	11°31'	1696285	5050754
VILLA FRANCA (SIMN, A.M., CMT)	VF	A.M.	VR	68	45°23'	10°52'	1646091	5027147
VILLORBA	VL	M.A.	TV	38	45° 44'	12° 14'	1750428	5070752

2.2. METODI

I dati giornalieri di temperatura massima e minima e di precipitazioni sono stati usati per calcolare i valori medi annuali, stagionali, mensili, decadali e giornalieri dei 49 anni considerati.

Sulla base delle rilevazioni locali è stata stimata l'evapotraspirazione di riferimento ET₀ calcolata con l'equazione di Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985):

$$Et_o = 0.0023 \cdot R_a \cdot \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \cdot (T + 17.8)$$

dove:

ET₀ = evapotraspirazione di riferimento (mm d⁻¹)

R_a = radiazione solare extraterrestre in mm di acqua evaporata al giorno

T = temperatura media dell'aria (°C), ricavata dalla media tra la T_{max} e la T_{min}

T_{max} - T_{min} = escursione termica giornaliera (°C)

0.0023 e 17.8 = costanti empiriche.

Successivamente si è calcolato il Bilancio Idro-Climatico (BIC), dato dalla differenza tra piovosità (P) ed evaporazione di riferimento (ET0):

$$\text{BIC} = P - \text{ET0}$$

Per i parametri rilevati (temperature e piovosità) e per quelli derivati (ET0, BIC, SOMMATORIE TERMICHE) sono state calcolate le anomalie rispetto alla media del periodo 1956-2004, le medie mobili quinquennali, i trend regressivi lineari ed è stata effettuata l'analisi di discontinuità con il metodo flat steps di Bai e Perron implementato nella libreria statistica STRUCCHANGE di R (*Zeileis et al., 2003*) descritto nel capitolo precedente.

I risultati sono stati rappresentati graficamente ed in alcuni casi spazializzati con un sistema di medie pesate con peso inversamente proporzionale al quadrato della distanza senza preventiva omogeneizzazione per le quote; ciò rende il metodo, implementato nel software Surfer 7, più efficace per le aree di pianura, che sono poi quelle soggette ad un più intenso sfruttamento agricolo.

Inoltre i risultati sono stati confrontati con "proxy data" di varia fonte, quali ad esempio dati storici 1961-2004 di temperatura e precipitazione dell'Emilia Romagna (*fonte dati: Cacciamani, 2007, comunicazione personale*) e i dati storici di fioritura del Merlot e Cabernet (1964-2004) forniti dall'Istituto Sperimentale per la Viticoltura di Conegliano.

Ai fini dell'approfondimento della climatologia dinamica della regione Veneto nel periodo 1956-2004, si è analizzata la correlazione esistente tra i dati medi storici stagionali di temperatura e precipitazione con indici di circolazione teleconnettivi, descritti in precedenza, quali in NAO, SCAN, EA, EAWR disponibili sul sito (<http://www.cpc.noaa.gov>). Anche in questo caso si sono confrontati i risultati ottenuti con quelli prodotti da Ciccarelli et al. (2007), per la Regione Piemonte nel periodo 1952-2002.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 PRECIPITAZIONI

3.1.1. Trend annui

Avendo la disponibilità di dati giornalieri di precipitazione relativi a 49 stazioni per il periodo storico 1956-2004, si è reso possibile il calcolo di medie e trend con lo scopo di fornire la rappresentazione della pluviometria storica media della regione Veneto, ed i suoi andamenti nei 49 anni considerati.

La rappresentazione spaziale di Kriging descrive una distribuzione territoriale media della pluviometria regionale, individuando una parte centro meridionale di pianura con piovosità media compresa tra 620 e 1050 mm. Spostandosi verso nord nella fascia pedemontana e poi montana tale valore aumenta portandosi su valori compresi tra i 1250 ed i 1980 mm. E' evidente una forte escursione pluviometrica legata alla latitudine.

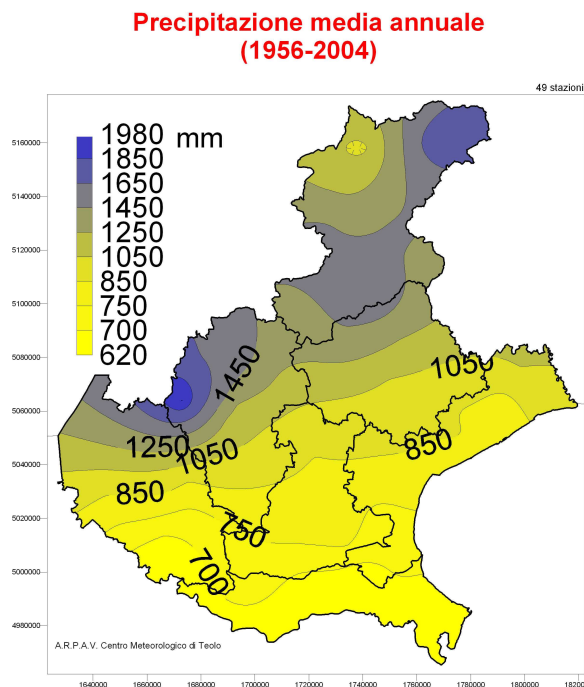


Figura 43: precipitazioni medie annue in Veneto nel periodo 1956-2004

Rappresentando graficamente la precipitazione media annua di ciascuna stazione si evidenziano i trend lineari decrescenti significativi ($p < 0.05$) pari a -3.4 mm/anno, ovvero -340 mm/secolo, sempre che tali trend si ripetano in modo invariato. La media del periodo pari a 1115 mm e la media mobile quinquennale (linea rossa) permettono di individuare a occhio nudo un andamento altalenante di diminuzioni e aumenti del valore medio fino agli anni '80 circa, quando si instaurano anni con precipitazioni stabilmente sotto la media. Gli anni meno piovosi risultano essere il 1969, 1983, 1988, 1993, ed il 2003. Gli anni più piovosi il 1959, 1960, 1979, ed il 2002.

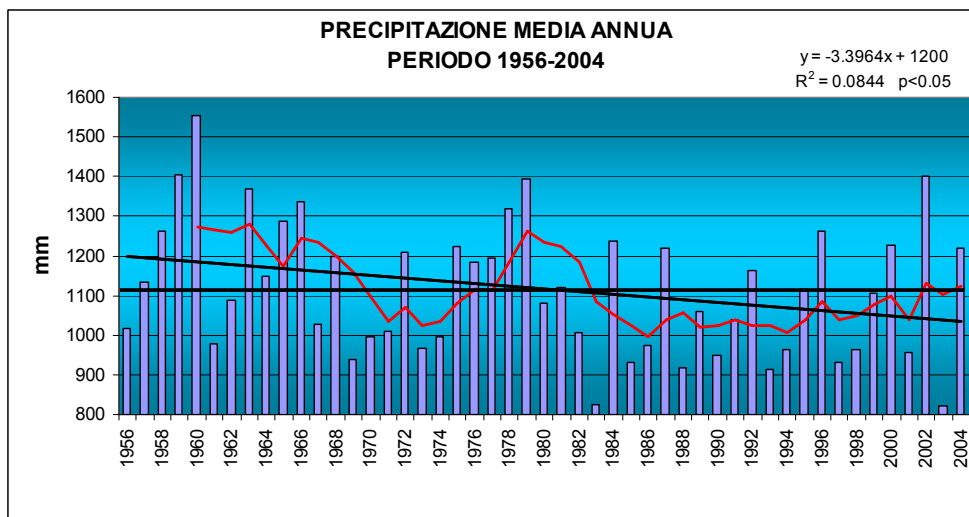


Figura 44: precipitazione media annua del periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point (punto di discontinuità), permette di evidenziare meglio i punti discontinuità che descrivono meglio come nel 1966 e nel 1981 si siano verificati (con il 50% di confidenza) due bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato le precipitazioni medie a diminuire da valori di 1235 mm a valori di 1124 e 1052, mm rispettivamente nei tre sottoperiodi 1956-1966, 1967-1981, 1982-2004. Al 2004 quindi ci si trova in una situazione di piovosità sotto la media del periodo e pari a 1115mm.

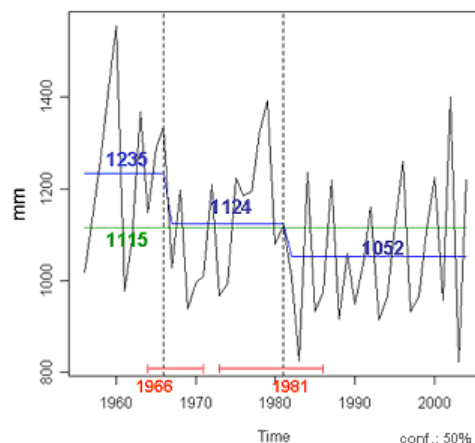


Figura 45: analisi di discontinuità delle precipitazioni medie annue

L'individuazione dei punti di discontinuità ci permette di rappresentare sul territorio la situazione pluviometrica media prima e dopo il break-point del 1981, che, a differenza del 1966, è l'anno dopo il quale i valori di precipitazione scendono sotto la media del periodo. Si nota bene come, nel periodo 1982-2004, rispetto alla rappresentazione territoriale del periodo 1956-1981, le isolinee della zona pedemontana e di pianura, si spostino verso nord, mentre in montagna le isolinee si riducano di ampiezza.

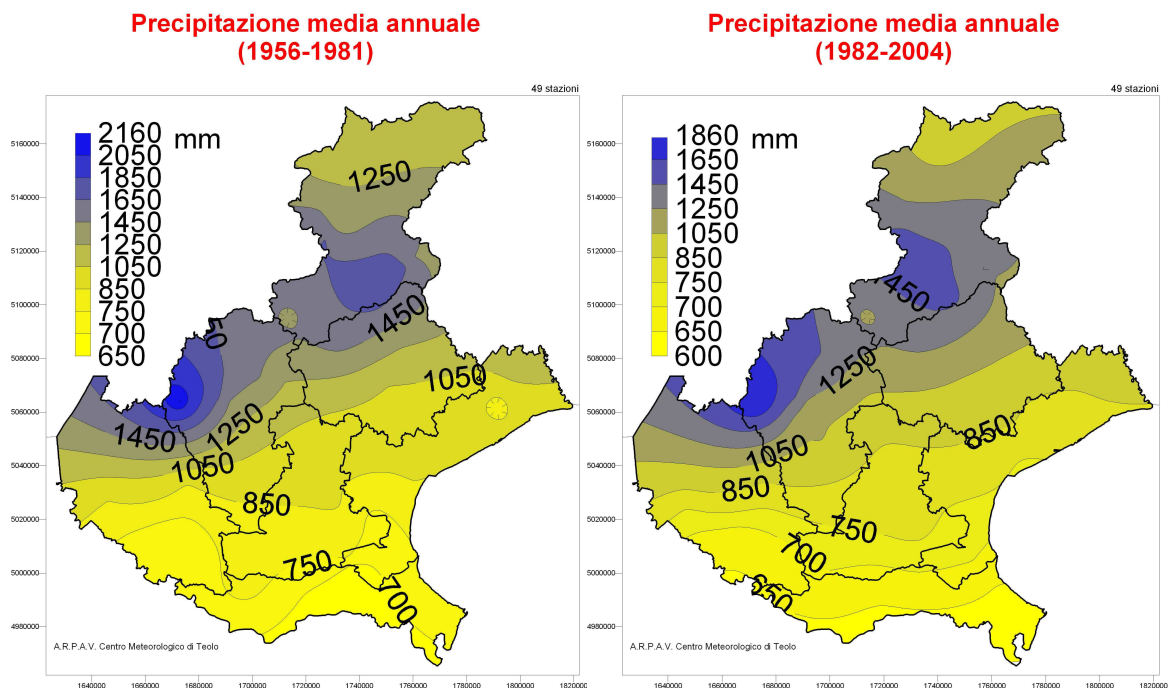


Figura 46: precipitazioni medie annue in Veneto prima e dopo il 1981

Nel periodo 1981-2004, nel Polesine si nota la comparsa di un nuovo valore minimo di precipitazione media pari a 600 mm, che prende il posto del valore minimo di precipitazione media annua del periodo 1956-2004 pari a 650mm.

Analizzando l'andamento delle anomalie medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004, si individuano meglio le entità degli scarti degli anni più e meno piovosi compresi tra +300/+400 e - 200/-300 mm. Le anomalie negative maggiori risultano essere quelle degli anni 1982, 2003, mentre quelle maggiormente positive fanno riferimento agli anni 1960, 1983, 2002.

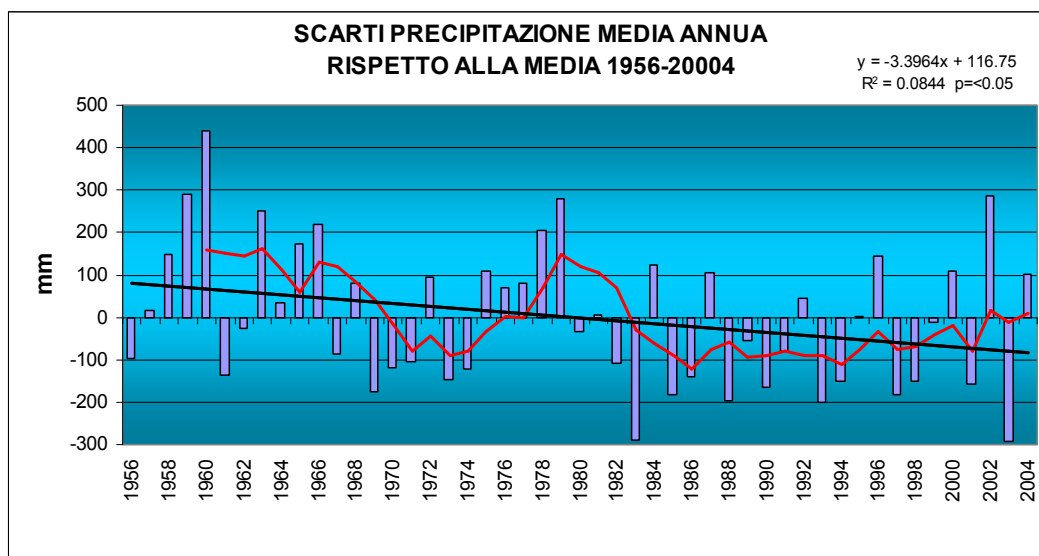


Figura 47: scarti delle precipitazioni medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004

3.1.2. Precipitazioni Stagionali

Le stagioni più piovose risultano essere quella estiva ed autunnale con valori medi stagionali vicino ai 300mm; la stagione meno piovosa è quella invernale con precipitazioni medie pari a 200 mm.

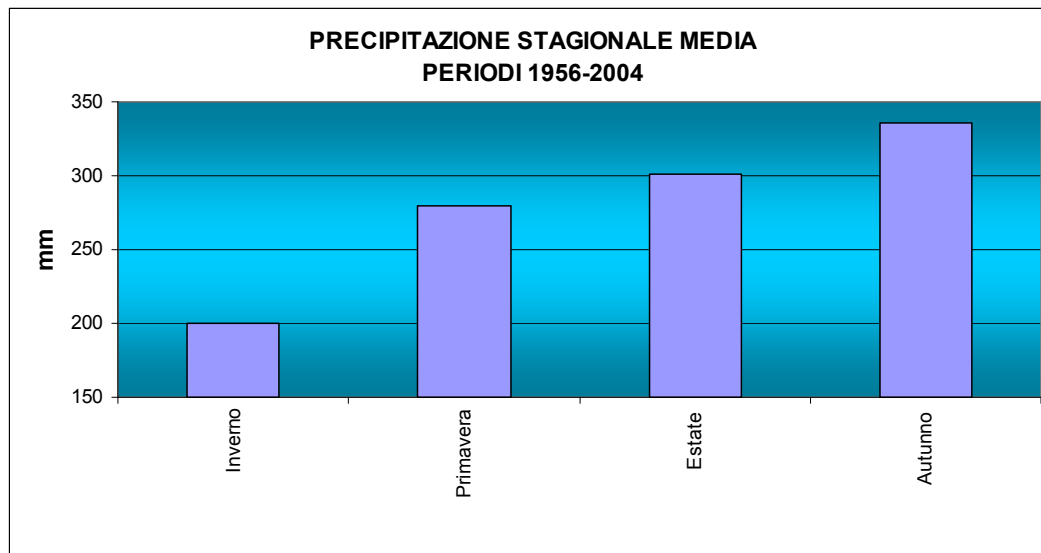


Figura 48: precipitazioni stagionali medie del periodo 1956-2004

L'andamento stagionale medio degli scarti per ciascuna stazione, ottenuto dalla differenza delle piovosità medie prima e dopo il breakpoint del 1981, individua gli scarti più negativi in inverno (circa -50mm) e meno negativi in autunno (circa -10mm). In estate e primavera tale scarto è compreso tra i -20 ed i -30 mm.

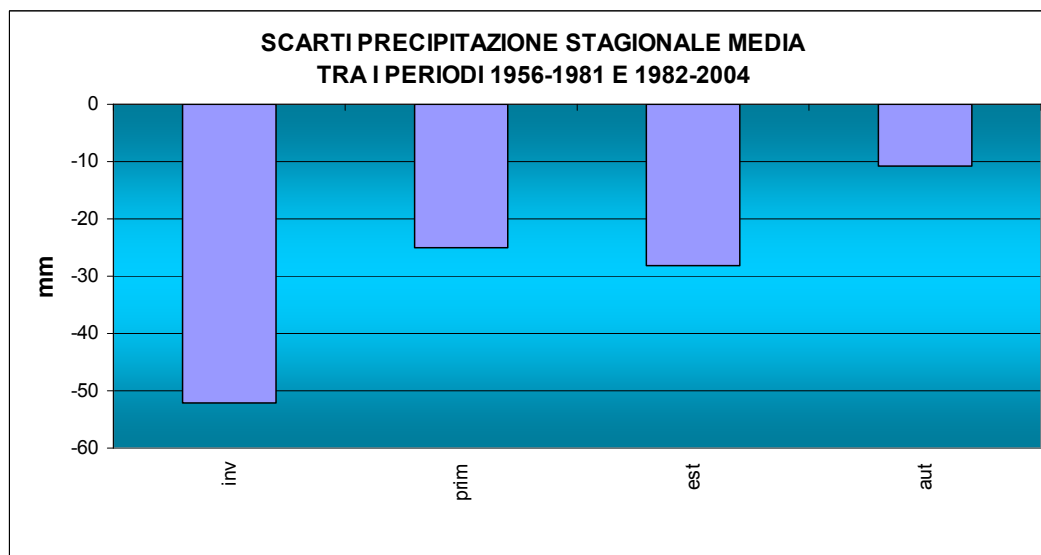


Figura 49: scarti precipitazioni stagionali medie tra i periodi prima e dopo il 1981

Primavera

Il trend delle precipitazioni primaverili è apparentemente in diminuzione (-0.96 mm/anno, ovvero 96 mm/secolo) ma la relazione non è significativa. E' evidente, soprattutto dalla media mobile, una alternanza di fasi di aumento e diminuzione delle precipitazioni primaverili. Ad ogni modo le precipitazioni primaverili variano da valori minimi di 229 e 141 mm (1987 , 2003), a valori massimi di 446 e 428 (1975 , 1959). Il valore medio del periodo è risultato pari a 280 mm.

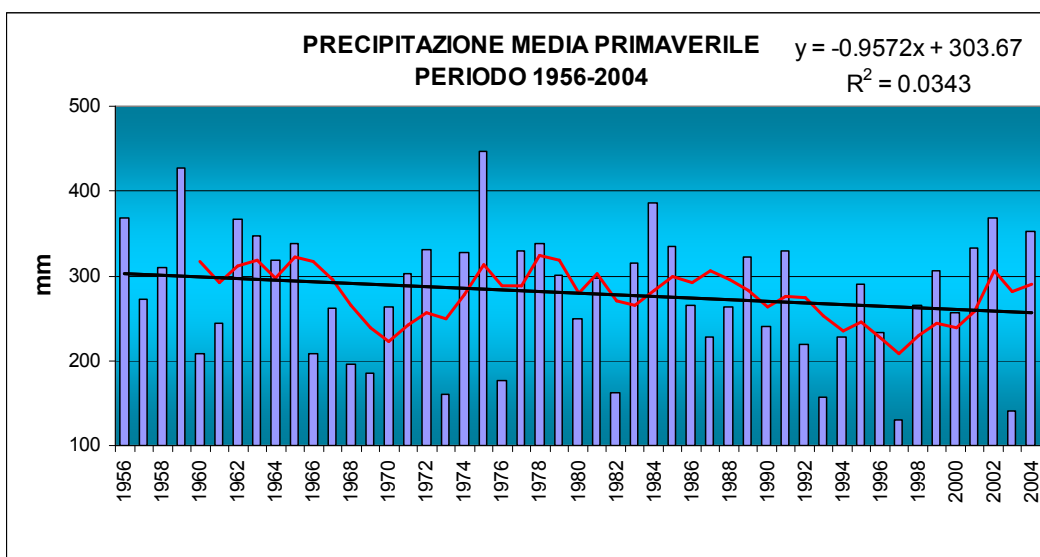


Figura 50: precipitazioni primaverili medie nel periodo 1956-2004

Non sono significativi i trend relativi al n° di giorni primaverili piovosi (prec. giornaliera >1 mm) e non piovosi. I valori medi per il periodo di 49 anni considerato sono rispettivamente di 38 e 54 gg.

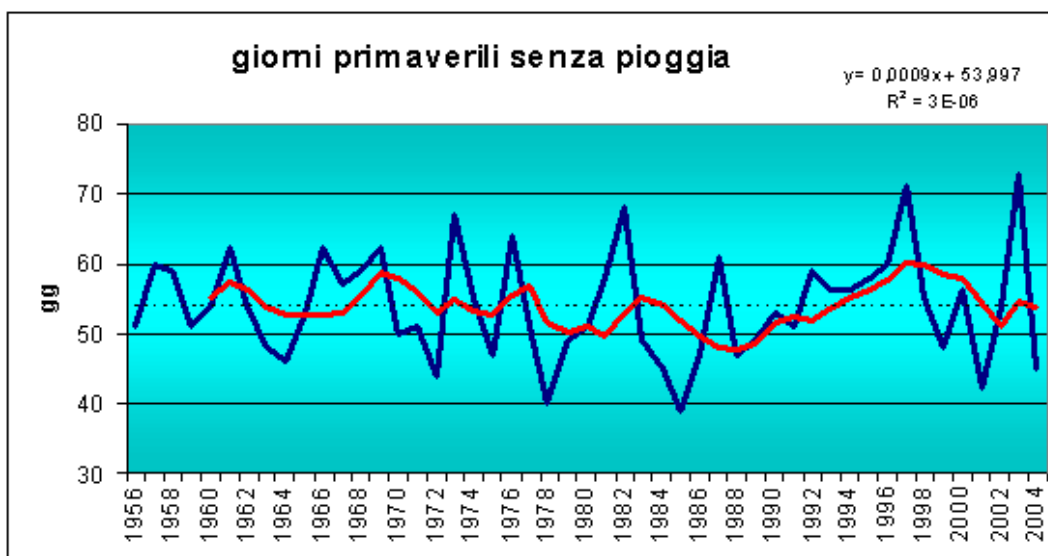


Figura 51: n° di giorni primaverili senza pioggia nel periodo 1956-2004

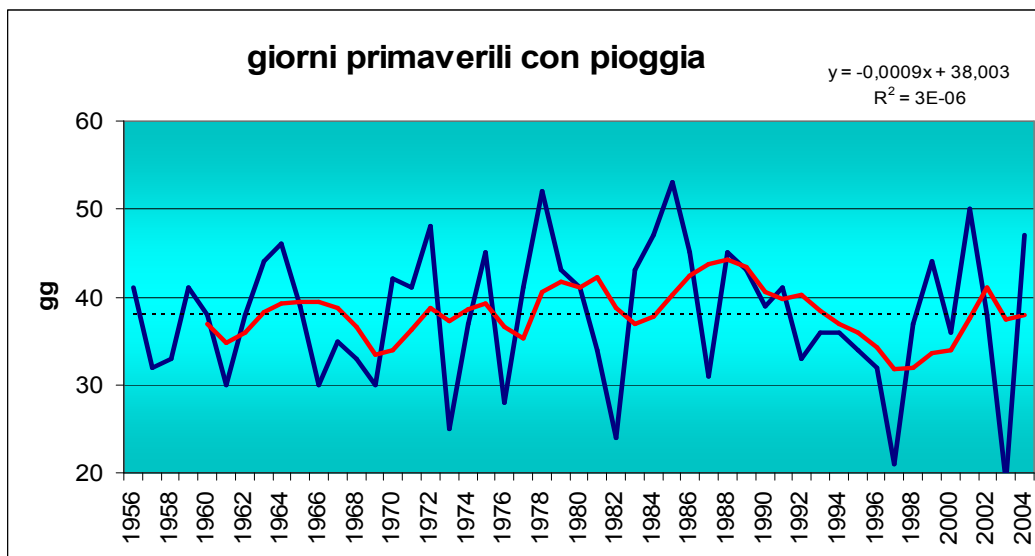


Figura 52: n° di giorni primaverili con pioggia nel periodo 1956-2004

Risulta invece essere significativamente positivo il trend del numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia che mediamente nel periodo 1956-2004 è pari a 16 gg. Tale trend individua un aumento di 12.3 giorni ogni 100 anni del massimo numero di gg senza pioggia, sempre che tale trend rimanga costante.

Il 1994, 2002 e 2003 sono gli anni con valore massimo di giorni consecutivi senza precipitazioni pari a 29 giorni. Mentre il 1959, 1964, 1978, 2001 sono gli anni con minore numero di giorni, circa 7, senza precipitazioni.

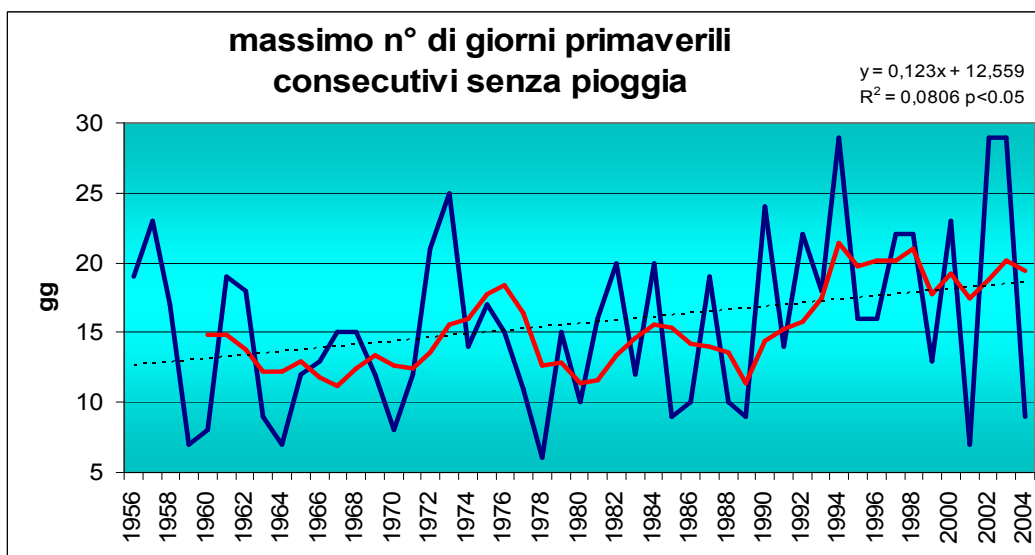


Figura 53: massimo n° di giorni primaverili consecutivi senza pioggia

Il valore dell'intensità di precipitazione primaverile, giornaliero medio, per il periodo 1956-2004 è pari a 7 mm/gg ottenuti dividendo i 266 mm di prec primaverile medi per i 38 gg medi di piovosità. Sempre ipotizzando che non subentrino discontinuità climatiche e che il

trend lineare negativo si confermi, essendo tale trend pari a -0.03 mm/anno, la diminuzione tra 100 anni sarà di 3mm.

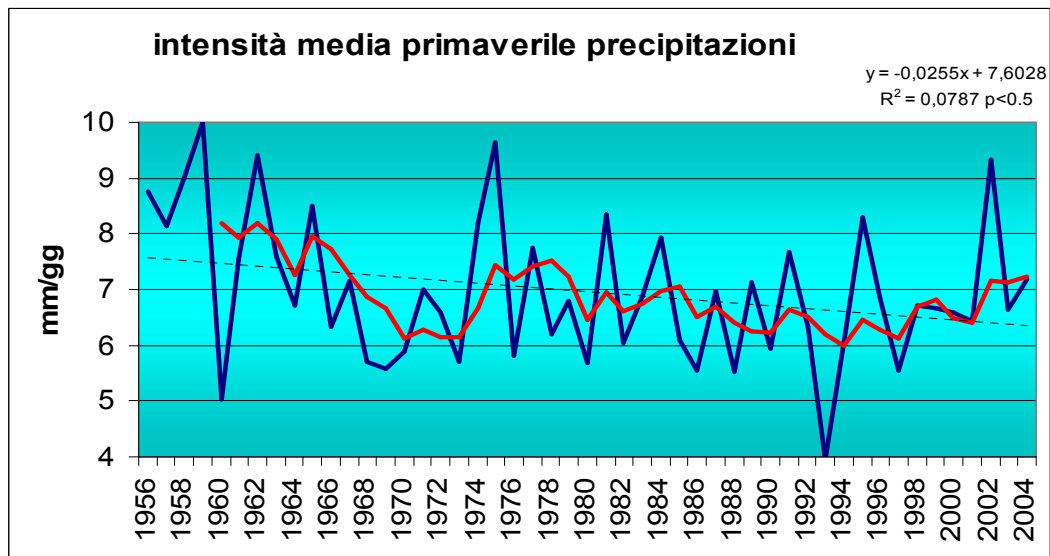


Figura 54: intensità media precipitazione primaverile nel periodo 1956-2004

Estate

Anche il trend delle precipitazioni estive è in apparente diminuzione (-0.78 mm/anno, ovvero -78 mm/secolo), ma, come per le precipitazioni primaverili, il trend non è significativo. E' evidente, ancora una volta dalla media mobile, un'alternanza di fasi di aumento e diminuzione delle precipitazioni estive che variano da valori minimi di 182 e 187 mm, monitorati rispettivamente nel 1962, 1983 e nel 2003, a valori massimi di 462 e 434 mm, monitorati rispettivamente nel 1968, 1989 e nel 2002. Il valore medio della precipitazione estiva per stazione è risultato essere nei 49 anni pari a 300 mm.

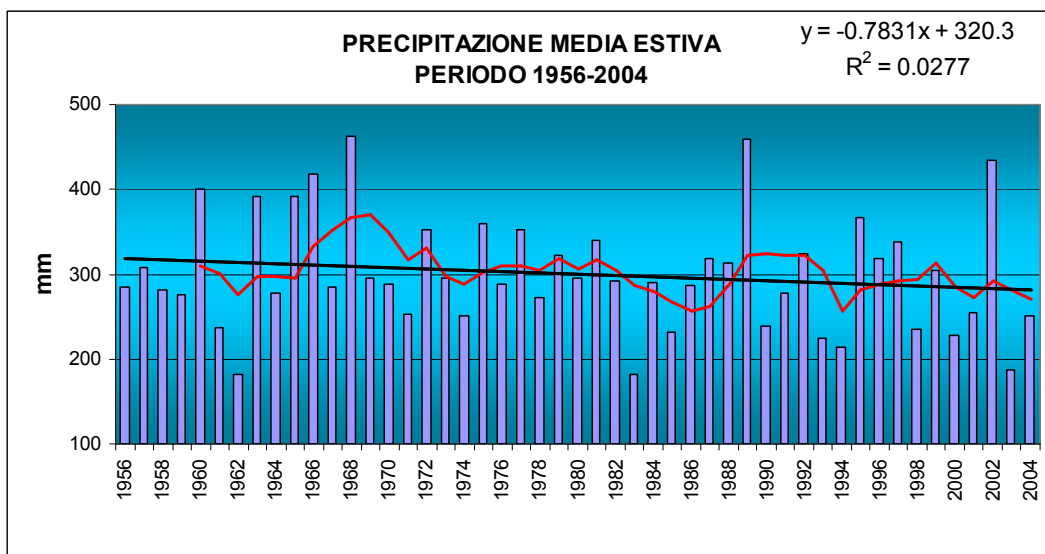


Figura 55: precipitazioni estive medie nel periodo 1956-2004

Non sono significativi i trend in diminuzione ed in aumento relativi al n° di giorni estivi piovosi (prec. giornaliera >1mm) e non piovosi. Tali valori medi per il periodo di 49 anni considerato sono uguali e pari a 45 gg.

Non è significativo il trend lineare del massimo numero di giorni estivi consecutivi senza pioggia che mediamente nel periodo 1956-2004 è pari a 9 gg.

Non è significativo nemmeno il trend dell'intensità media giornaliera delle precipitazioni estive; il valore della intensità di precipitazione estiva, giornaliera media, per il periodo 1956-2004 è pari a 6.2 mm/gg, ottenuti dividendo i 277 mm di precipitazione primaverile medi del periodo per i 45 gg medi di piovosità.

Autunno

Il trend delle precipitazioni autunnali è praticamente assente. Si evidenzia quindi come le precipitazioni medie autunnali si mantengano su valori costanti. Ad ogni buon modo le precipitazioni autunnali variano da valori minimi di 127 e 140 mm, monitorati rispettivamente nel 1983 e nel 1985, a valori massimi di 597 e 673 mm, monitorati rispettivamente nel 1960 e nel 2000. Il valore medio della precipitazione autunnale per stazione è risultato essere pari a 336 mm.

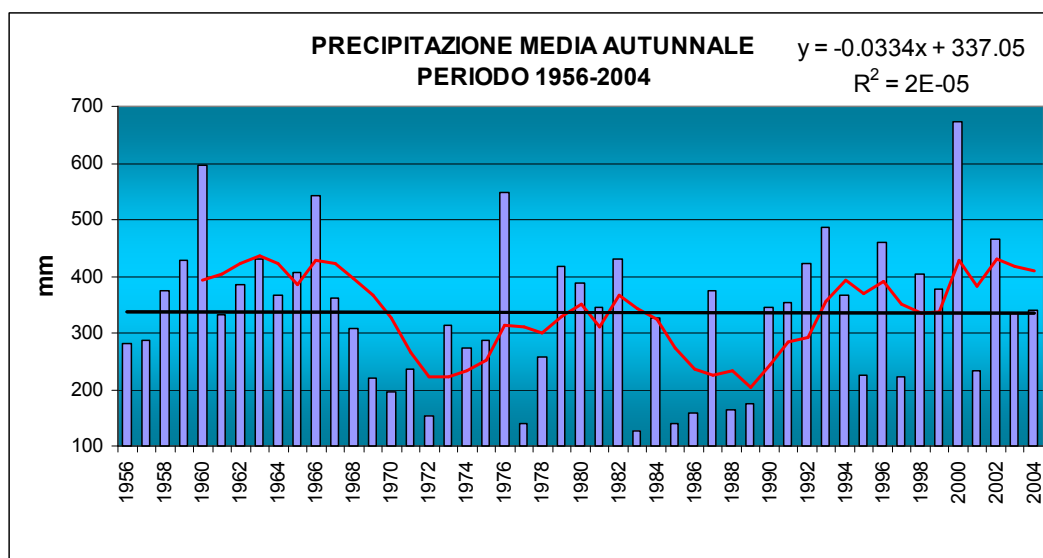


Figura 56: precipitazioni autunnali medie nel periodo 1956-2004

Non sono significativi i trend in diminuzione ed in aumento relativi al n° di giorni autunnali piovosi (prec. giornaliera >1mm) e non piovosi. Tali valori medi per il periodo di 49 anni considerato sono rispettivamente pari a 60 e 31 gg.

Non è significativo il trend lineare del massimo numero di giorni autunnali consecutivi con precipitazioni (in crescita) e senza pioggia (in diminuzione) che mediamente nel periodo 1956-2004 è pari rispettivamente a 9 e 18 gg.

Non è significativo nemmeno il trend dell'intensità media giornaliera delle precipitazioni autunnali; il valore della intensità di precipitazione estiva, giornaliera media, per il periodo 1956-2004 è pari a 10 mm/gg, ottenuti dividendo i 320 mm di precipitazione primaverile medi del periodo per i 31 gg medi di piovosità.

Inverno

Il trend delle precipitazioni invernale è significativamente in diminuzione; tale diminuzione è pari a una diminuzione di 1.8 mm/anno, ovvero 180 mm/secolo.

Le precipitazioni invernali variano da valori minimi di 64, 40, 74 e 63 mm, monitorati rispettivamente nel 1990, 1992, 1998 e 1994, a valori massimi di circa 200 mm, monitorati rispettivamente nel 1960, 1977 e 1978. Il valore medio della precipitazione invernale per stazione è risultato essere pari a circa 200 mm.

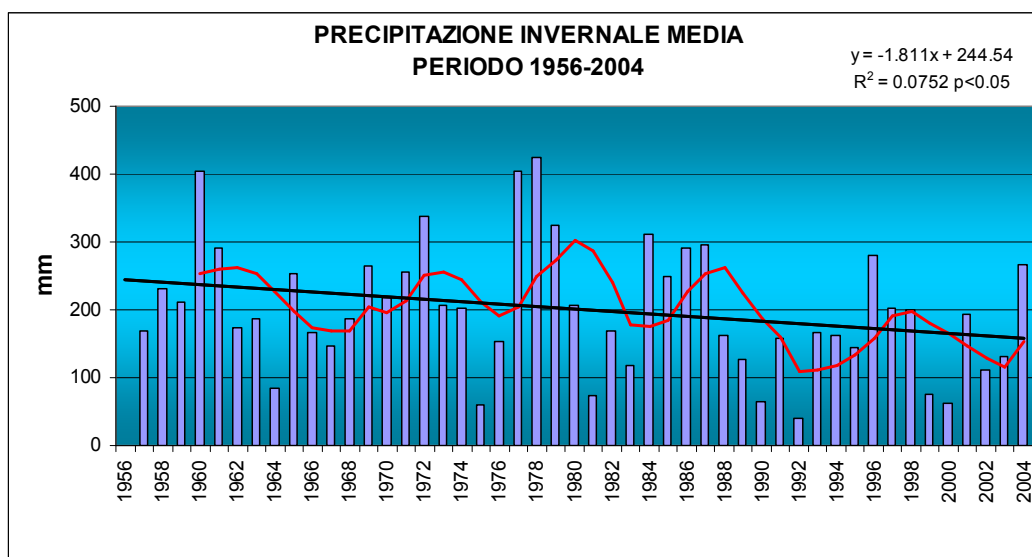


Figura 57: precipitazioni invernali medie nel periodo 1956-2004

Analizzando l'andamento delle anomalie medie invernali rispetto alla media del periodo 1956-2004 si individuano meglio le entità degli scarti degli anni più e meno piovosi compresi circa tra +200 e -200mm. Le anomalie negative maggiori risultano essere quelle degli anni il 1989, 2000, mentre quelle maggiormente positive fanno riferimento agli anni 1960, 1977, 1978.

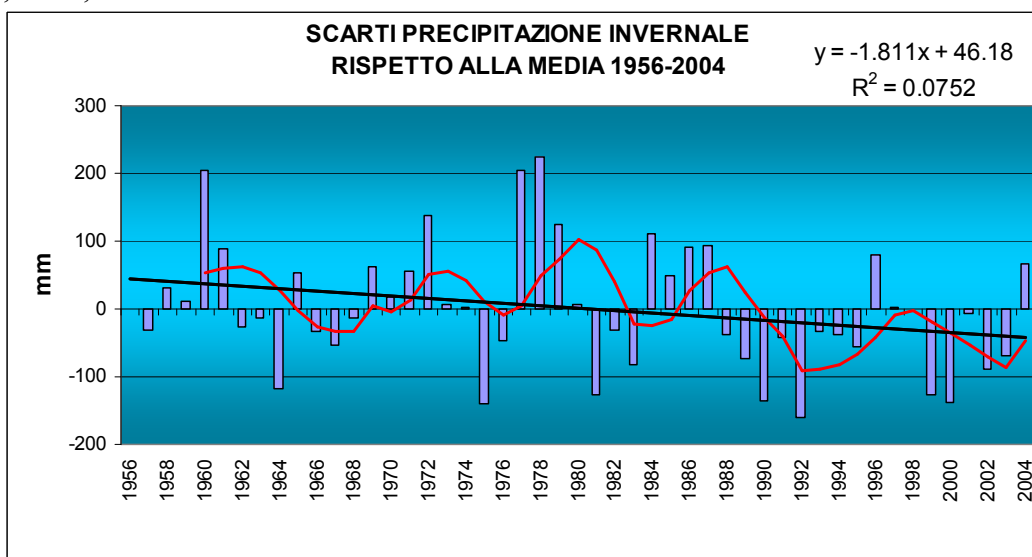


Figura 58: scarti precipitazioni invernali dalla media del periodo 1956-2004

L'analisi del punto di discontinuità delle precipitazioni invernali individua nel 1987 il breakpoint; tale analisi individua due sottoperiodi, pre e post 1987, rispettivamente con valori medi di precipitazione pari a 228 e 150mm.

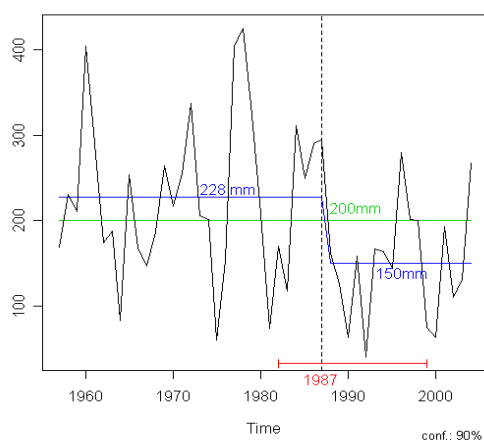


Figura 59: analisi di discontinuità delle precipitazioni invernali nel periodo 1956-2004

Non sono significativi i trend relativi al n° di giorni invernali piovosi (prec. giornaliera >1mm) e non piovosi. Tali valori medi per il periodo di 49 anni considerato sono rispettivamente di 23 e 68 gg.

Risulta invece essere significativamente positivo il trend del massimo numero di giorni consecutivi senza pioggia che mediamente nel periodo 1956-2004 è pari a 24 gg. Tale trend individua un aumento di 26 giorni ogni 100 anni del massimo numero di gg. senza pioggia, sempre che tale trend rimanga costante.

Il 1989, 1991, 1993 e 2000 sono gli anni con valore massimo di giorni consecutivi senza precipitazioni, pari rispettivamente a 53, 49, 58 e 47 giorni. Mentre il 1960 ed il 1979 sono gli anni con minore numero massimo di giorni, circa 10, senza precipitazioni.

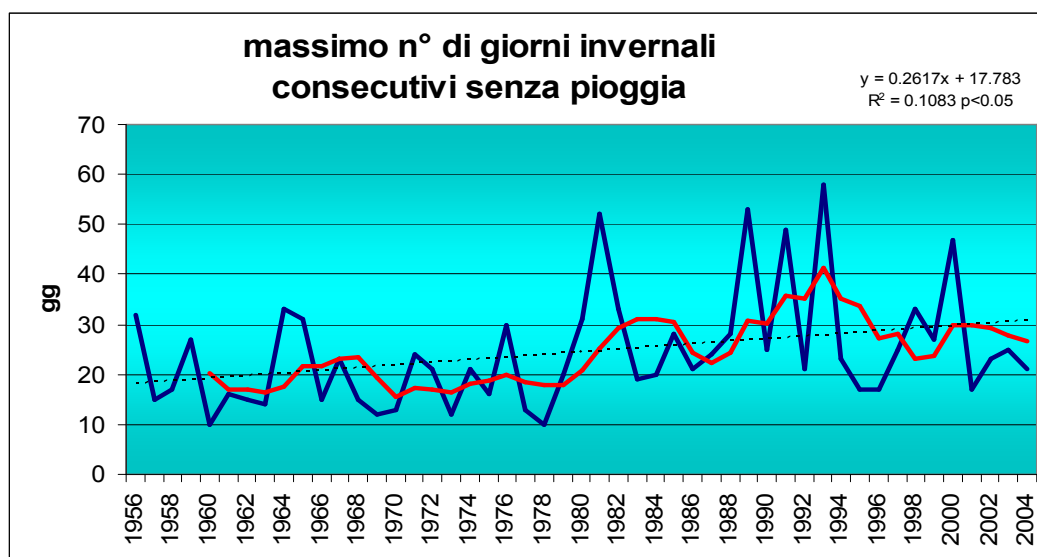


Figura 60: massimo n° di giorni invernali consecutivi senza pioggia

Non è significativo il trend dell'intensità media giornaliera delle precipitazioni invernali; il valore dell'intensità di precipitazione invernale, giornaliera media, per il periodo 1956-

2004 è pari a 8.3 mm/gg, ottenuti dividendo i 191 mm di precipitazione invernale media del periodo per i 23 gg medi di piovosità.

Tabella 3: trend precipitazioni stagionali (mm/anno).

	ANNUO	INVERNALE	PRIMAVERILE	ESTIVO	AUTUNNALE
<i>Precipitazioni Veneto (1956-2004)</i>	-3.39 *	-1.81 *	ns	ns	ns

* = trend significativo a $p < 0.05$; ns = trend non significativo

3.1.3 Precipitazioni Mensili

Analizzando la distribuzione delle precipitazioni mensili medie del periodo, si individuano nei mesi di ottobre e novembre quelli più piovosi con valori superiori ai 100 mm; mentre i mesi invernali di dicembre, gennaio e febbraio risultano essere i meno piovosi con una media di poco superiore ai 50 mm. I mesi estivi presentano una piovosità vicina ai 100mm.

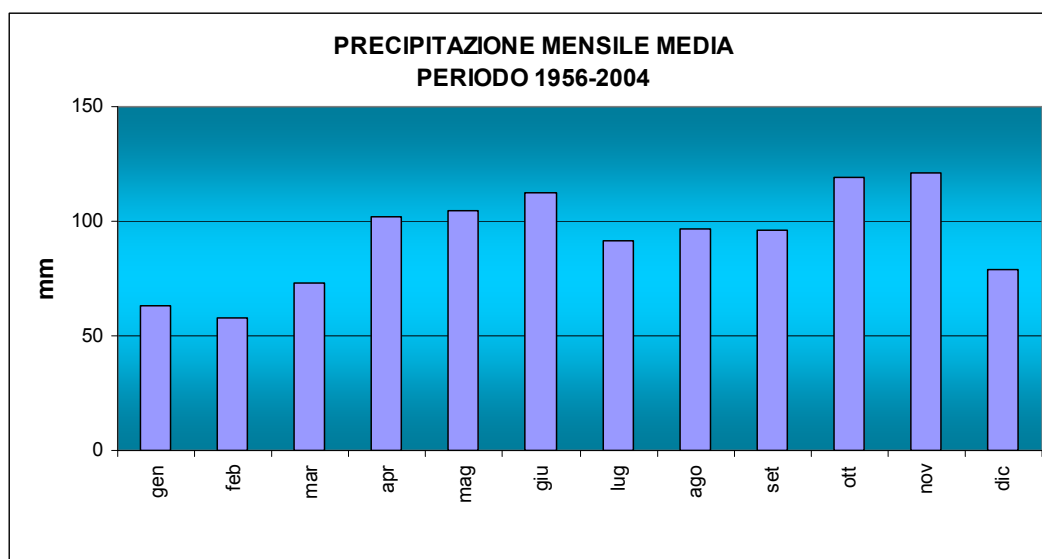


Figura 61: precipitazioni mensili medie del periodo 1956-2004

L'andamento mensile degli scarti delle precipitazioni mette in evidenza come i primi tre mesi dell'anno presentino dopo il 1981 i decrementi più sensibili della piovosità insieme al mese di novembre. I mesi di aprile e maggio presentano dei valori quasi in media prima e dopo il 1980, mentre il mese di ottobre è quello che presenta l'incremento di piovosità più sensibile pari a quasi 20mm.

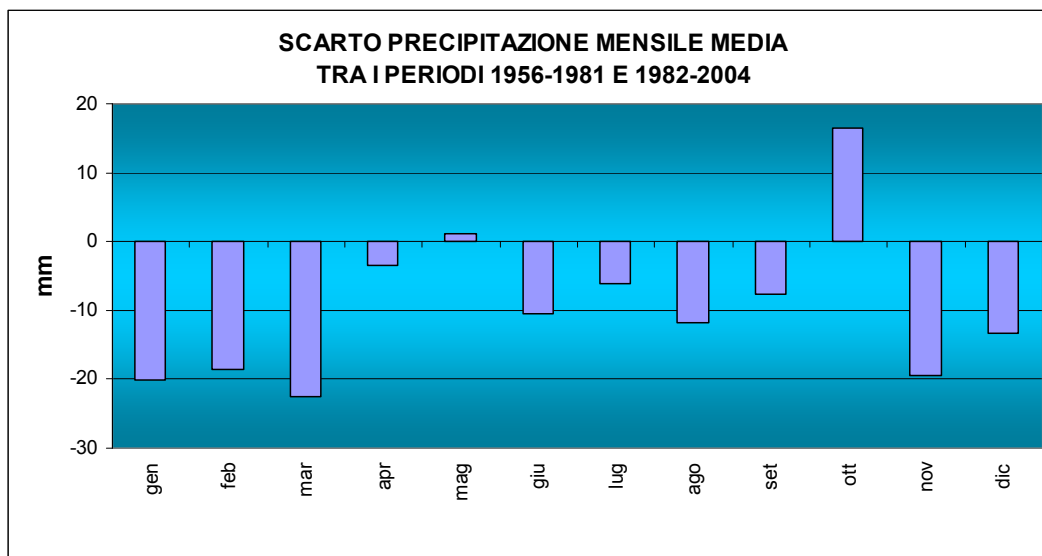


Figura 62: scarti precipitazioni mensili medie dopo il 1981

Il trend delle precipitazioni del mese di ottobre è significativamente in aumento; tale aumento è pari a di 2.1 mm/anno, ovvero 210 mm/secolo.

Le precipitazioni nel mese di ottobre variano da valori minimi quasi nulli monitorati rispettivamente nel 1965, 1968, 1989, 1995 a valori massimi maggiori di 250 mm monitorati rispettivamente nel 1992, 1993. Il valore medio della precipitazione nel mese di ottobre per stazione è risultato essere pari a circa 118 mm.

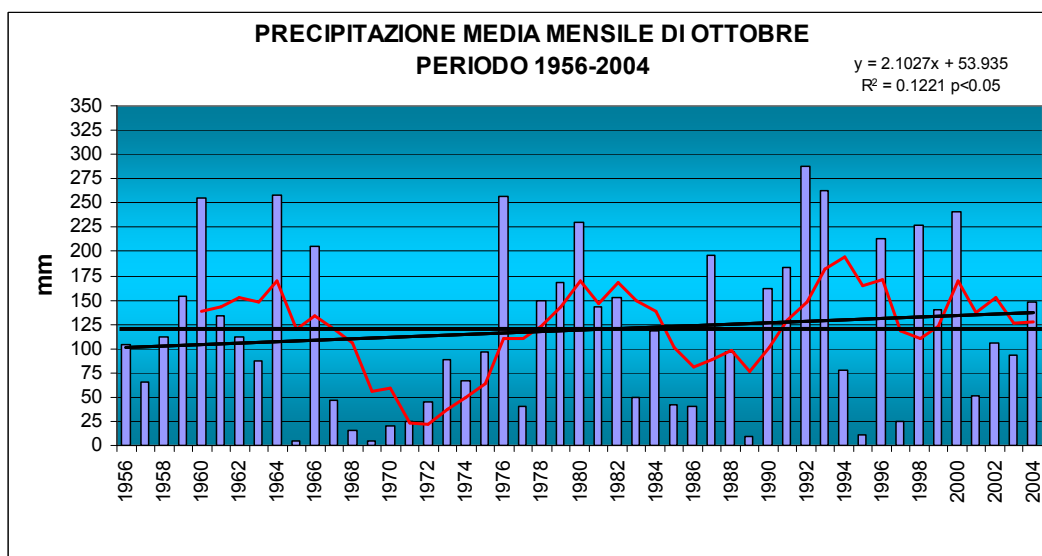


Figura 63: precipitazioni medie di ottobre del periodo 1956-2004

3.1.4. Precipitazioni Decadali

Il grafico delle medie decadali mette in evidenza la distribuzione delle precipitazioni autunnali più abbondanti rispetto a quelle invernali e la distribuzione più simile delle precipitazioni estivo-primaverile. Le decadi con mediamente più precipitazioni sono la prima e la terza di ottobre, e la prima di novembre, e la prima di giugno (piogge del Santo).

Le decadi meno piovose del periodo risultano mediamente essere la prima e la terza di febbraio. Il valore medio di precipitazione decadale è pari a 31 mm.

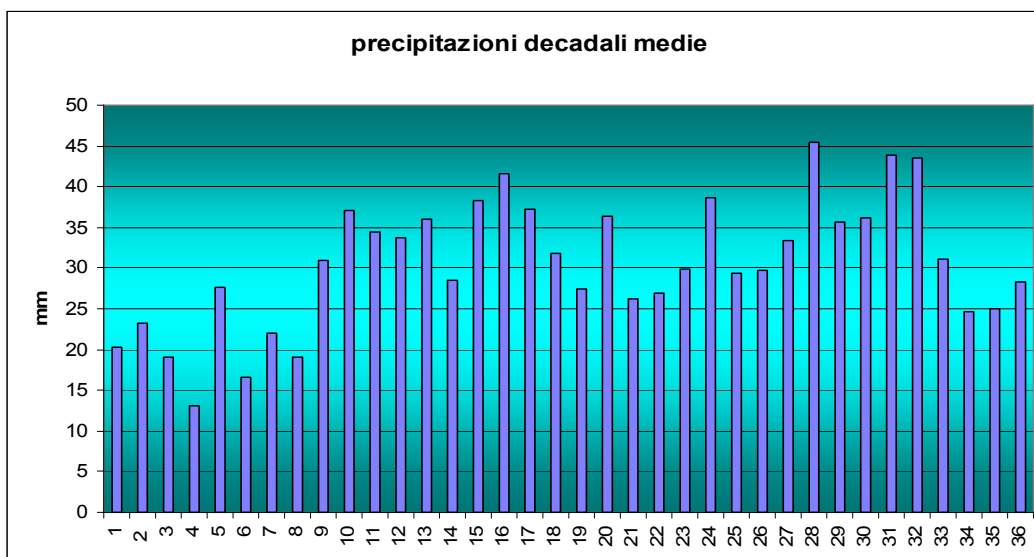


Figura 64: precipitazioni decadali medie del periodo 1956-2004

La distribuzione degli andamenti pluviometrici decadali prima e dopo il 1981 mette in evidenza come la prima decada di ottobre sia quella che mediamente registra un incremento maggiore di apporti pluviometrici insieme alla prima decada di aprile e di maggio. Tutte le decadi rimanenti hanno visto diminuire le precipitazioni medie nella terza decada di aprile, seconda decada di gennaio, febbraio, marzo e agosto, prima e seconda di novembre.

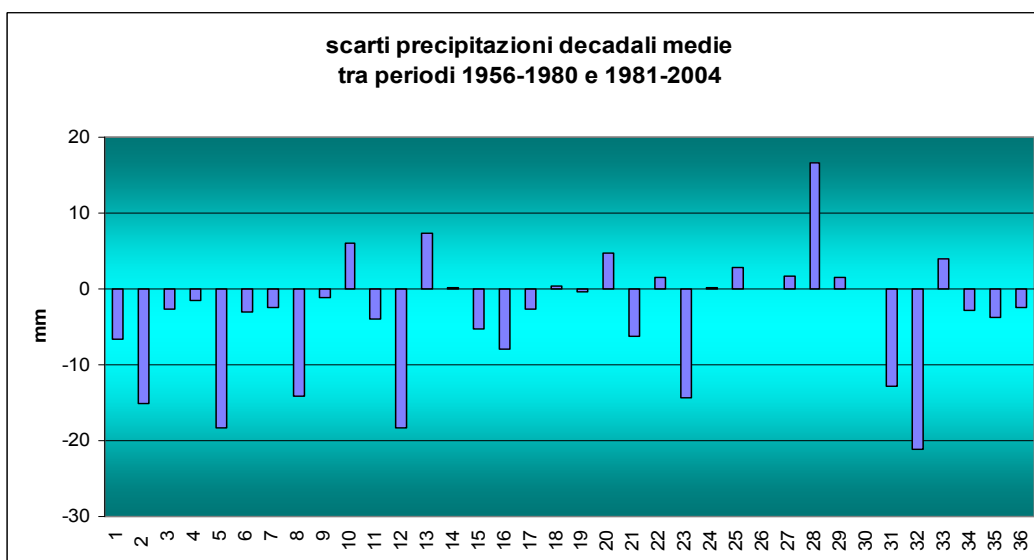


Figura 65: scarti precipitazioni decadali medie dopo il 1981

3.1.5. Precipitazioni Giornaliere

Le precipitazioni giornaliere riassumono quanto detto in precedenza. Solo a titolo di curiosità si può notare come nei 49 anni considerati i giorni mediamente più piovosi siano

stati il 7 ed il 13 novembre (7.3-7.4mm), il 7 e 12 ottobre il 4-5 maggio, il periodo compreso tra il 5 ed il 13 giugno (giorni del Santo). I giorni meno piovosi sono risultati essere 9 gennaio, 8 e 28 febbraio (0.6-0.9 mm).

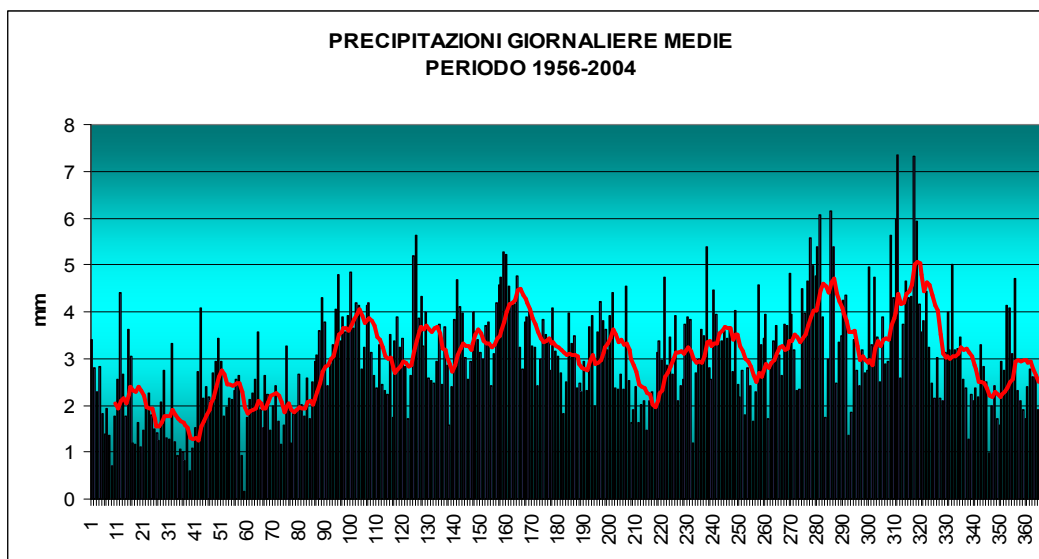


Figura 66: precipitazioni giornaliere medie del periodo 1956-2004

Gli scarti, ottenuti dalla differenza dei valori medi giornalieri per stazione, pre e post 1981, ribadiscono come il loro segno sia in genere negativo e come ci sia stato una generale diminuzione della precipitazione soprattutto nelle giornate invernali. Mentre sono bene individuabili gli scarti positivi relativi alla prima decade di ottobre. Le medie mobili decadali (in rosso) e mensili (in giallo) evidenziano quanto già riportato in precedenza.

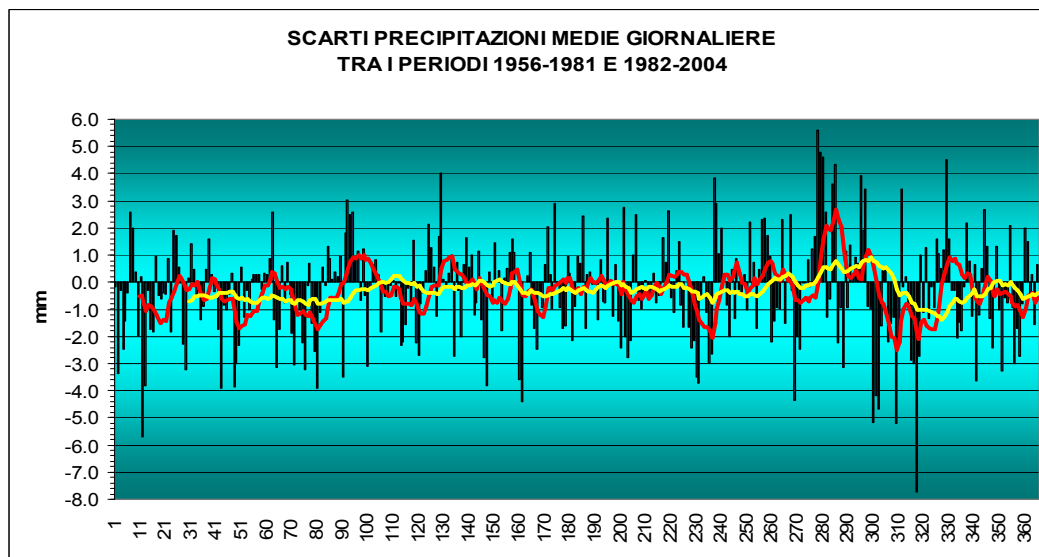


Figura 67: scarti precipitazioni giornaliere medie dopo il 1981

3.2 TEMPERATURE MASSIME

3.2.1. Trend Annui

Rappresentando graficamente la temperatura massima media annua delle nove stazioni disponibili, si evidenziano trend lineari positivi altamente significativi ($p < 0.01$) di 4.6°C ogni 100 anni, facendo l'ipotesi che tale trend si ripeta inalterato nel prossimo secolo. La media del periodo, pari a 16.8°C , e la media mobile quinquennale (linea rossa) permettono di individuare un andamento sostanzialmente stabile e altalenante fino alla fine degli anni '80, quando si instaura una tendenza all'aumento che sembra diminuire solo negli ultimi anni del periodo. Gli anni con le temperature medie massime più alte risultano essere concentrati dopo il 1994. Infatti su 10 anni (dal 1994 al 2004) 7 (1994, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003) presentano valori medi massimi della temperatura superiori ai 18°C .

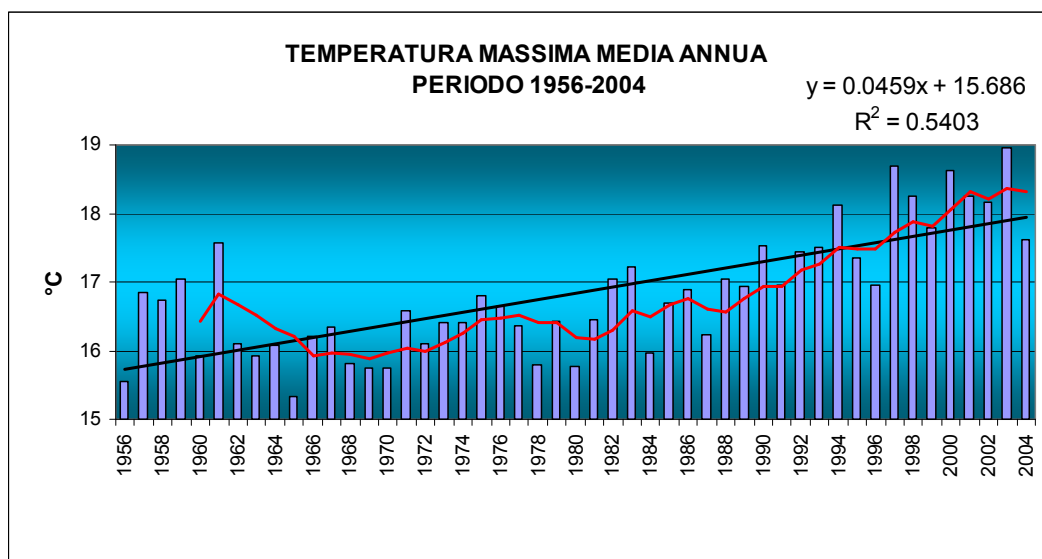


Figura 68: temperatura massima media del periodo 1956-2004 calcolata su 9 stazioni

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point (punto di discontinuità) permette di evidenziare meglio il 1989 come l'anno intorno al quale si sono verificate, per le nove stazioni considerate, il 90% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato le temperature massime ad aumentare da un valore medio di 16.4°C ad un valore medio pari a 17.9°C per periodo 1990-2004.

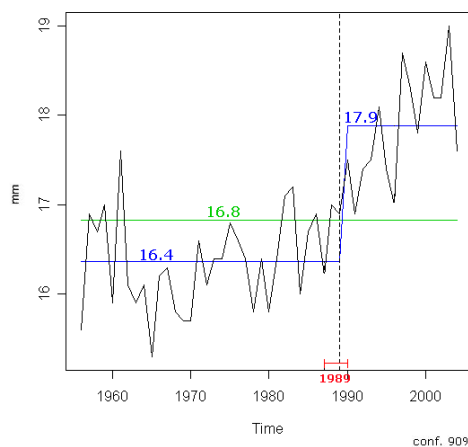


Figura 69: analisi di discontinuità delle temperature massime medie annue

Analizzando l'andamento delle anomalie medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004, si individuano meglio le entità e distribuzione degli scarti delle temperature massime medie annuali. Si evidenzia ulteriormente come dagli anni '90 tali scarti diventino tutti positivi, e come dal 1994 si susseguono molti anni con anomalia compresa tra 1 e 2°C, fatta eccezione per il 2003 che presenta uno scarto dalla media del periodo superiore ai 2°C.

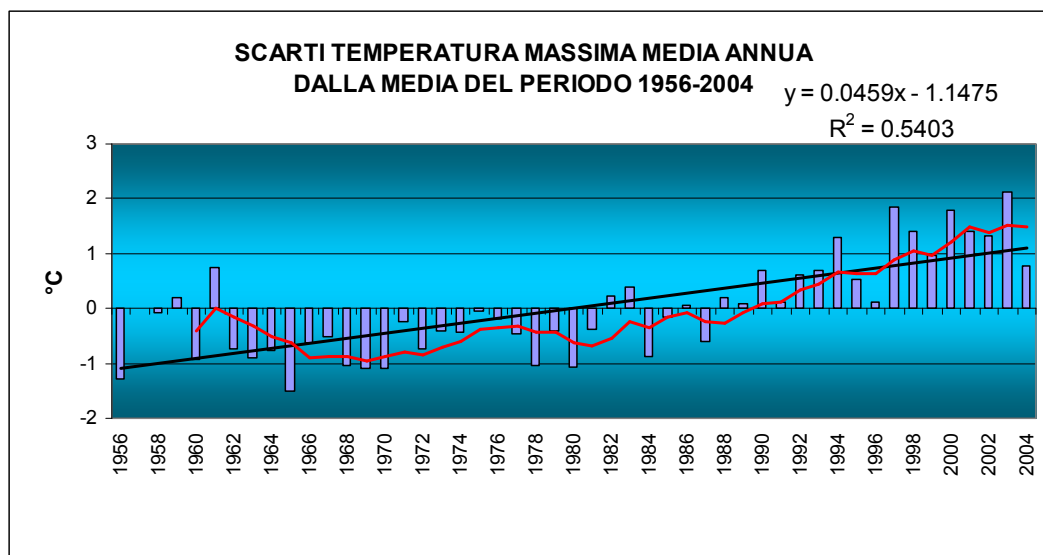


Figura 70: scarti delle temperature massime medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004

E' interessante constatare come confrontando i valori medi di temperatura massima media annua con l'intero periodo 1956-2004, tali scarti risultino essere simili nei valori a quelli ottenuti dal confronto con la media del periodo di riferimento dell'ultimo trentennio disponibile 1971-2000; mentre, se confrontati con il trentennio 1960-1990, mediamente più freddo, l'entità degli scarti positivi aumenti notevolmente superando in molti casi i 2°C.

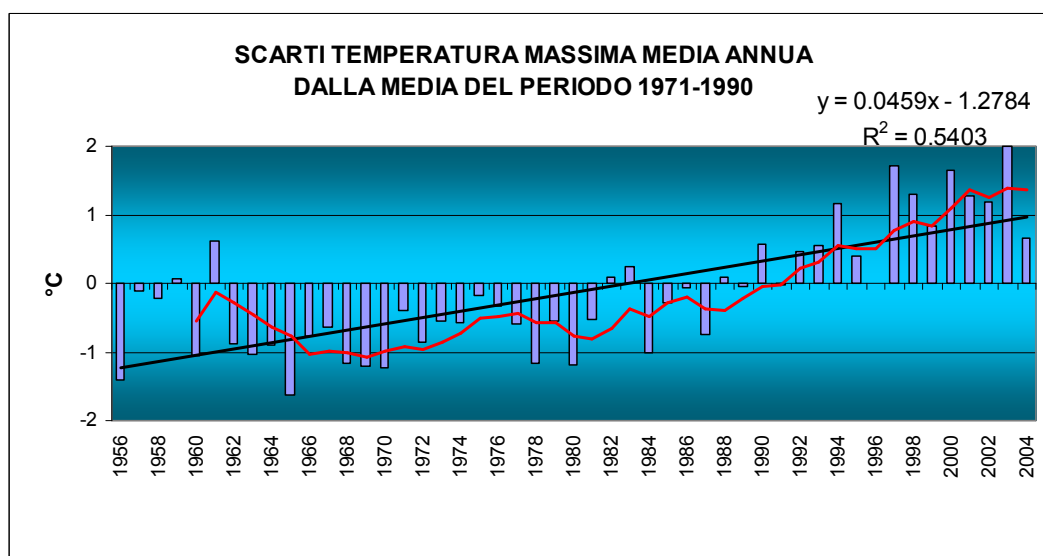


Figura 71: scarti delle temperature massime medie annue rispetto alla media del periodo 1971-1990

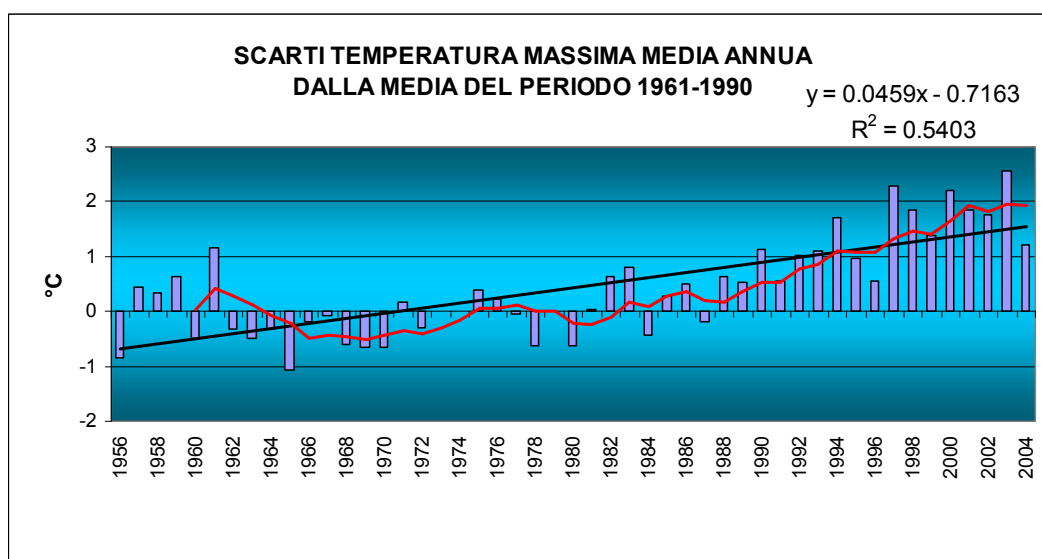


Figura 72: scarti delle temperature massime medie annue rispetto alla media del periodo 1960-1990

3.2.2. Temperature Massime Stagionali

Le stagioni più “calde” risultano essere quella estiva, autunnale e primaverile, seguite da quella invernale con valori di temperatura massima media stagionali rispettivamente di 27.1, 17.2, 16.8 e 6.1°C.

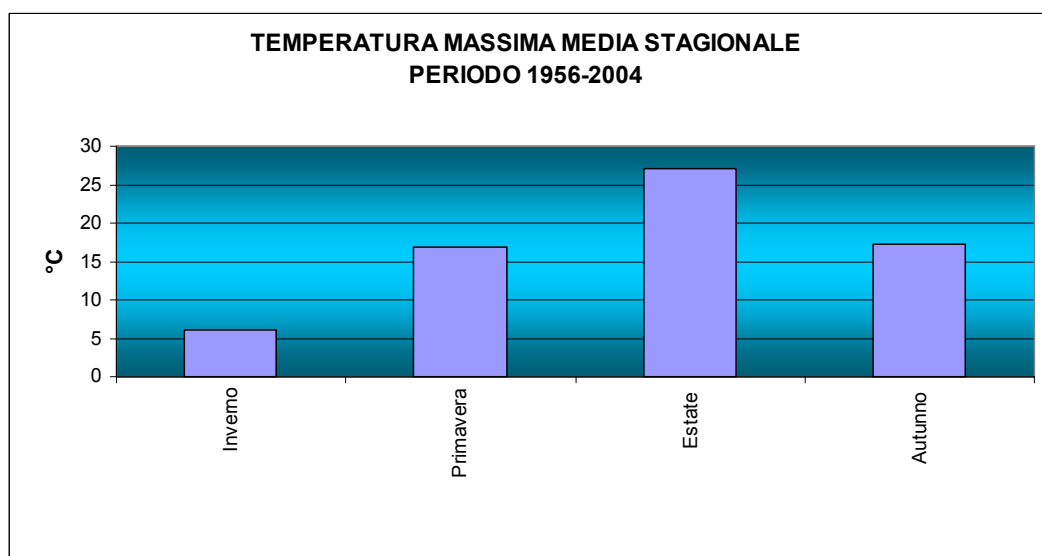


Figura 73: temperature massime medie stagionali del periodo 1956-2004

L'andamento stagionale medio degli scarti per ciascuna stazione, ottenuto dalla differenza delle temperature massime medie prima e dopo il breakpoint del 1989, individua gli scarti maggiori in estate e primavera (1.8 e 1.7°C), seguiti dall'inverno e dall'autunno (1.5 e 0.8°C).

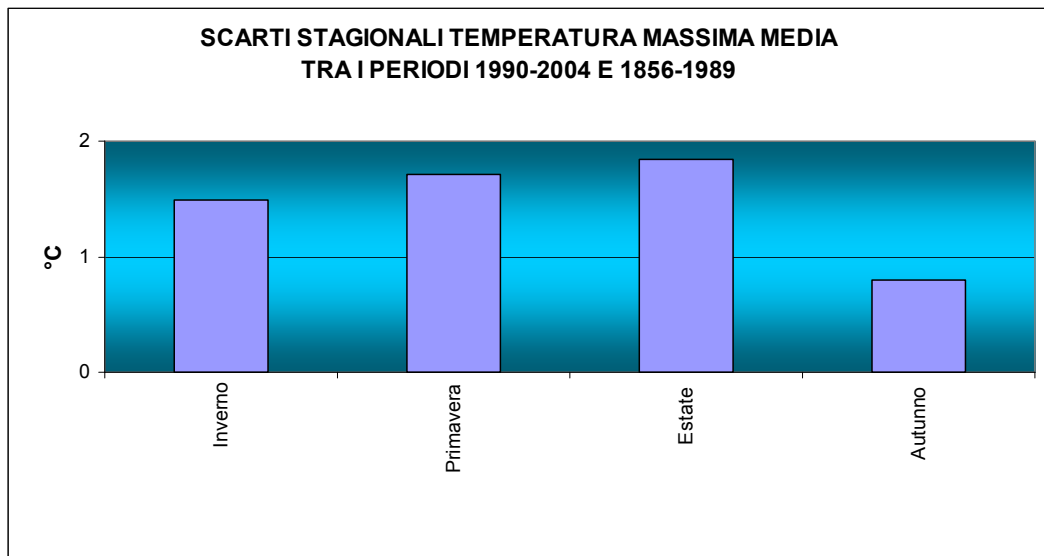


Figura 74: scarti temperature massime medie stagionali dopo il 1989

Primavera

Il trend delle temperature massime primaverili è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a $0.045^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, $4.5^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento lineare venga confermato per 100 anni. E' evidente come fino al brusco aumento degli anni 90 i valori di temperatura primaverile siano stati caratterizzati da un'alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Le temperature massime medie primaverili variano da valori minimi compresi tra i 14 e 15 gradi del 1960, 1970 e 1984, ai valori massimi di circa 19°C del 1987, 2000 e 2003. Il valore medio della temperatura massima primaverile monitorata in queste 9 stazioni è pari a 16.8°C .

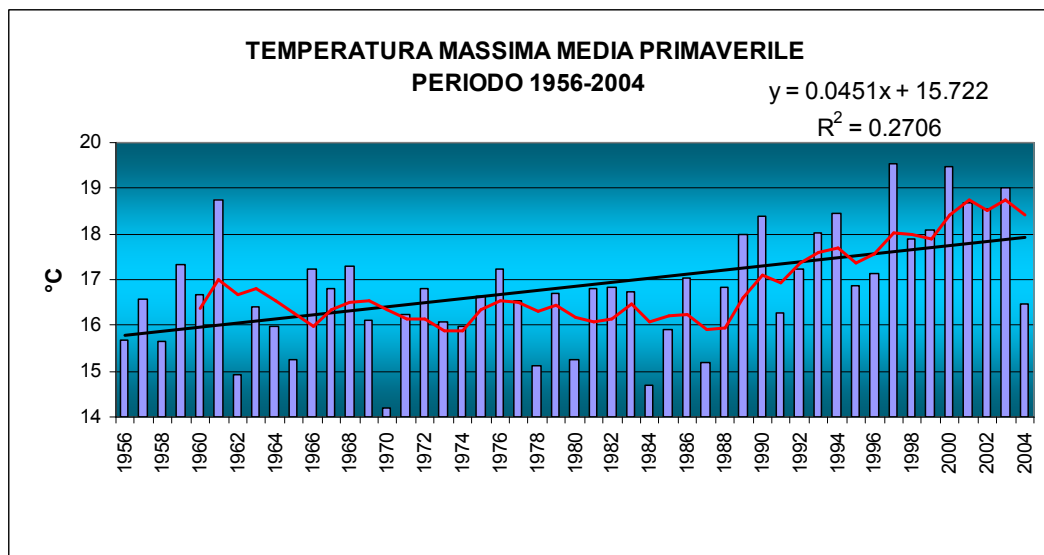


Figura 75: temperature massime medie primaverili del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media primaverile evidenziano come dagli anni 90 in poi gli scarti delle temperature massime medie primaverili siano stati spesso compresi tra 1 e 2 gradi o superiori di tre gradi come nel caso degli anni 1997, 2000, e 2003.

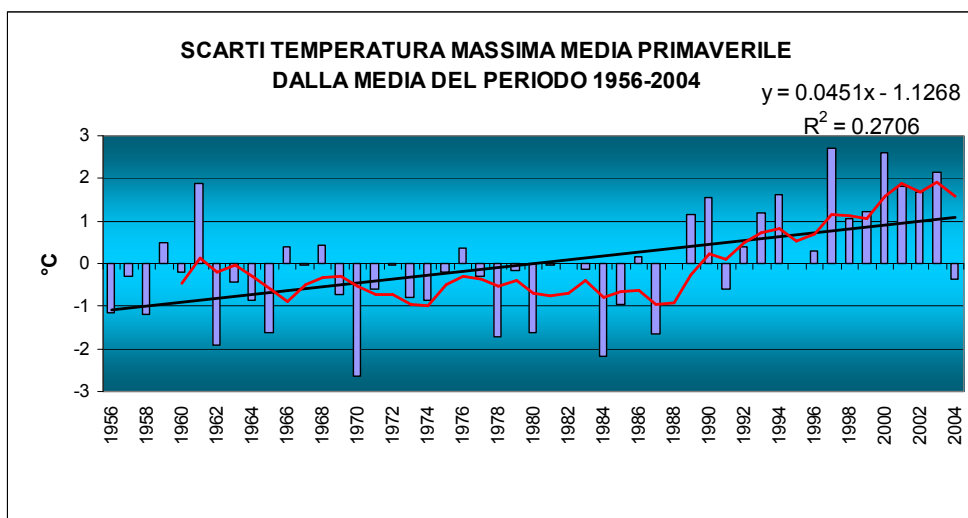


Figura 76: scarti delle temperature massime medie primaverili rispetto alla media del periodo 1956-2004

Estate

Il trend delle temperature massime estive è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a $0.056^\circ\text{C}/\text{anno}$, ovvero $5.6^\circ\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. E' evidente anche in questo caso come fino agli anni 90 i valori di temperatura estiva siano stati caratterizzati da un'alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Le temperature massime medie estive variano da valori minimi compresi tra i 24 e 26 gradi del 1960, 1965, 1966, 1968, 1977, 1978, ai valori massimi superiori ai 28°C del 1983, 1991, 1992, 1993, 1998-2004. Impressionante il valore di temperatura massima media dell'estate 2003 pari a 33°C , tenendo conto che il valore medio della temperatura massima primaverile monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a 27.1°C .

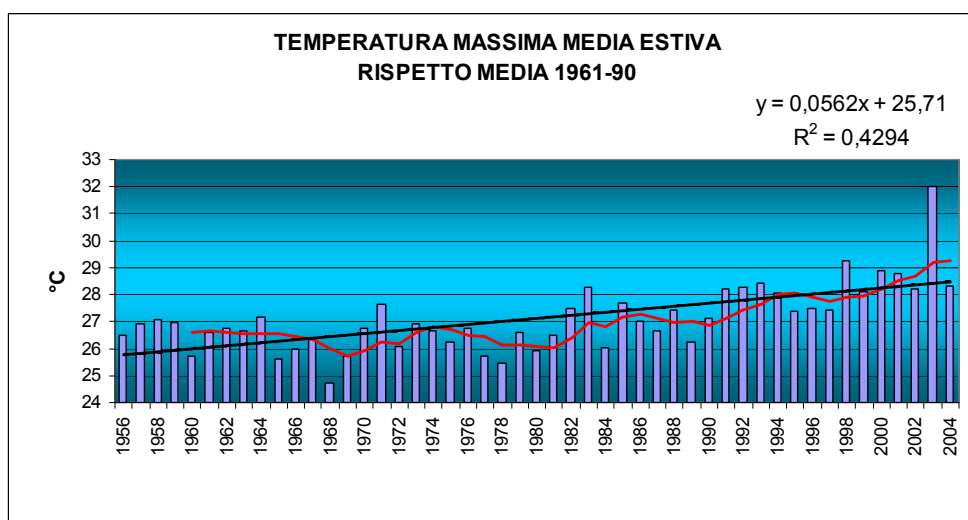


Figura 77: temperature massime medie estive del periodo 1956-2004

Anche gli scarti dalla media estiva del periodo evidenziano come dagli anni 90 in poi gli scarti delle temperature massime medie estive siano stati spesso compresi tra 1 e 2 gradi o addirittura superiori di 5 gradi come nel 2003.

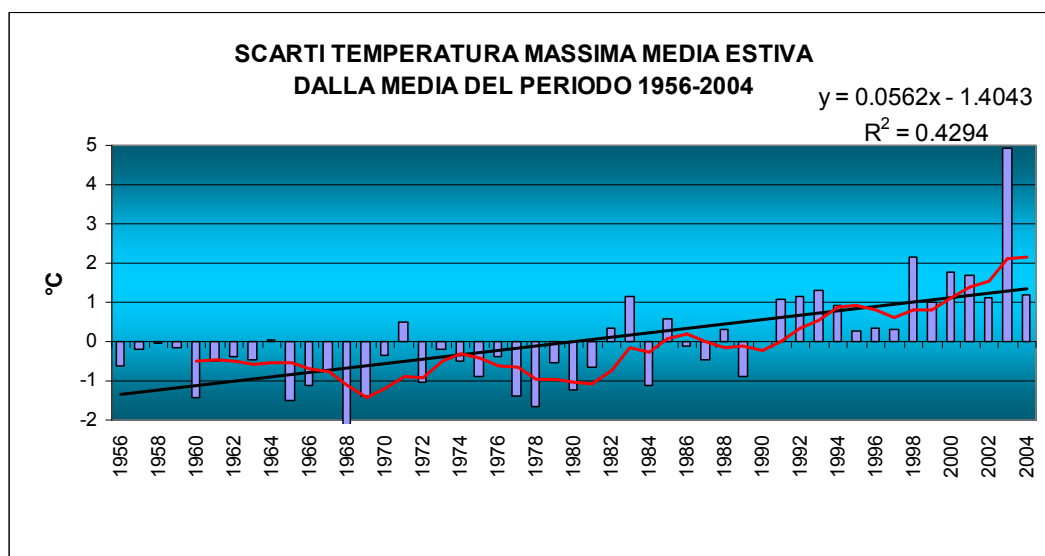


Figura 78: scarti delle temperature massime medie estive rispetto alla media del periodo 1956-2004

Autunno

Il trend delle temperature massime autunnali è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a $0.0275^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, ovvero $2.7^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. Le temperature massime medie autunnali variano da valori minimi compresi tra i 15 e 16 gradi del 1965, 1972, 1974, 1980 ai valori massimi superiori ai 18°C del 1984, 1986, 1987, 1994, 1997-2002, 2004. Il valore medio della temperatura massima autunnale monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a 17.2°C .

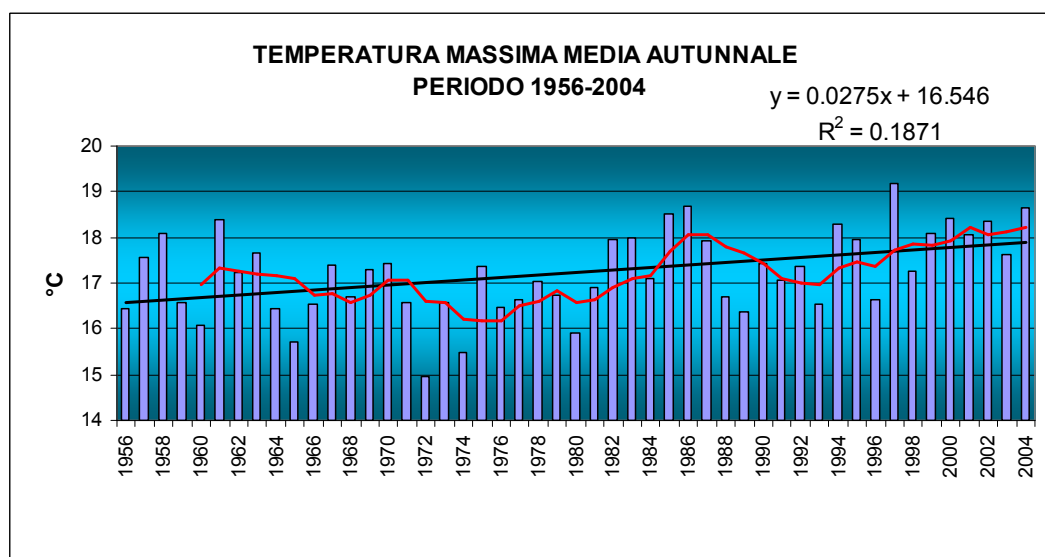


Figura 79: temperature massime medie autunnali del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media autunnale del periodo 1956-2004 evidenziano come anche da prima degli anni '90 gli scarti delle temperature massime medie autunnali siano stati spesso compresi tra 1 e 2 gradi o anche superiori di 2 gradi come nel 1985, 1986, 1987, 2000, 2002 e 2004.

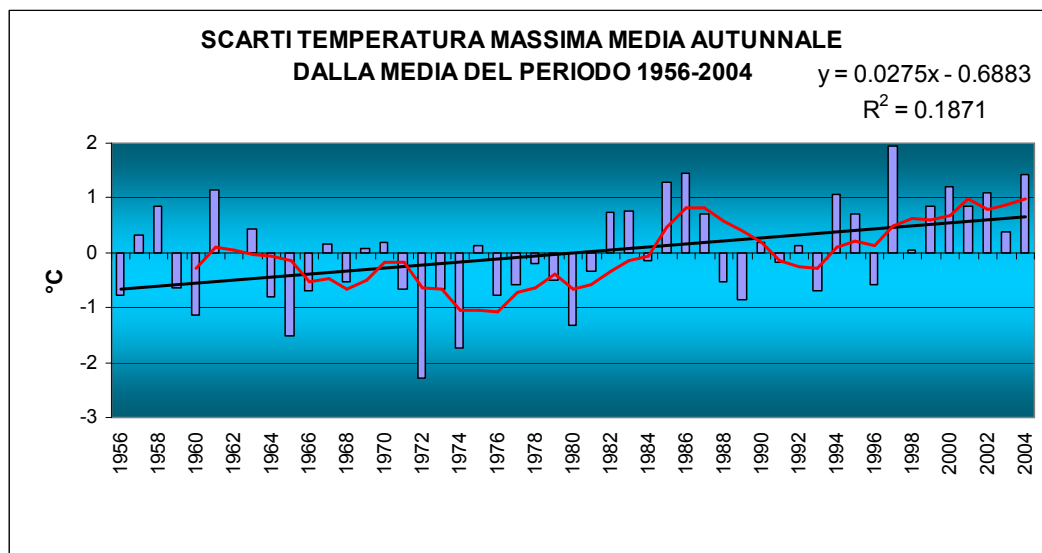


Figura 80: scarti delle temperature massime medie autunnali rispetto alla media del periodo 1956-2004

Inverno

Il trend delle temperature massime invernali è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a $0.0462^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, ovvero $4.6^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. Le temperature massime medie invernali variano da valori minimi compresi tra i 3 e 4 gradi circa del 1963, 1969, 1970 ai valori massimi superiori agli 8°C del 1997, 1998, 2001. Il valore medio della temperatura massima invernale monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a 6.1°C .

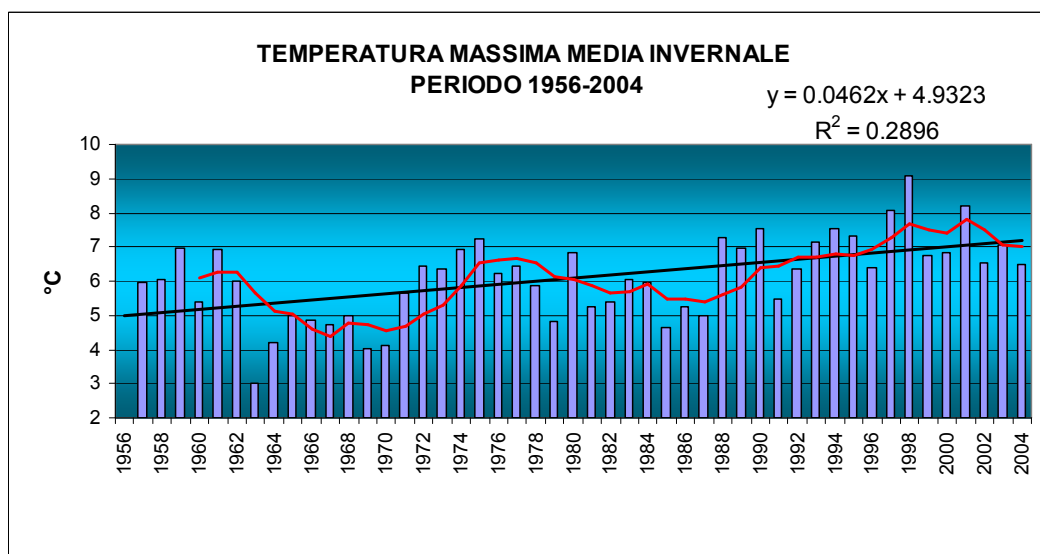


Figura 81: temperature massime medie invernali del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media invernale del periodo 1956-2004 evidenziano come anche dalla fine degli anni '80 gli scarti delle temperature massime medie invernali siano stati spesso compresi tra 1 e 2 gradi o anche superiori di 3 gradi come nel 1998.

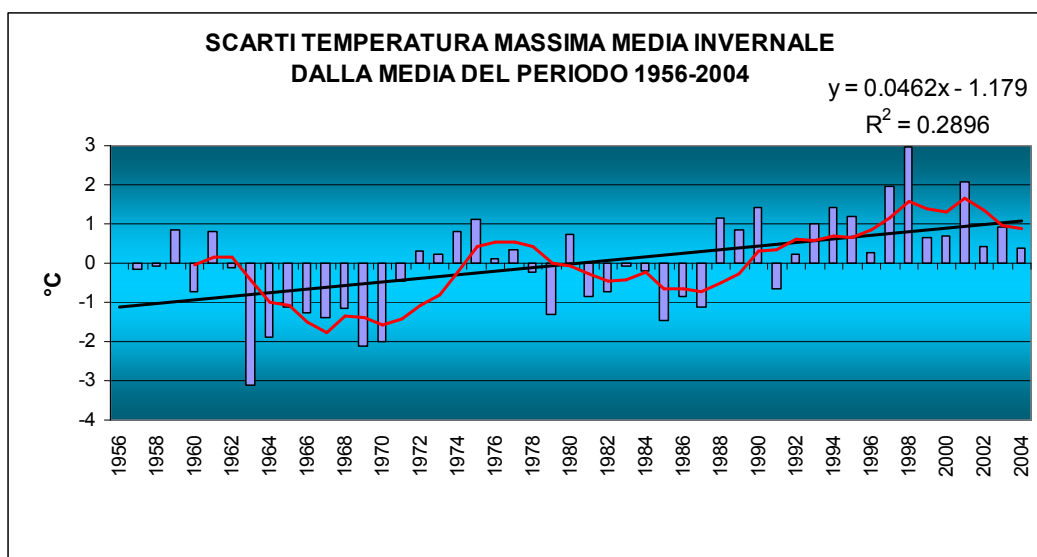


Figura 82: scarti delle temperature massime medie invernali rispetto alla media del periodo 1956-2004

Tabella 4: trend temperature massime stagionali (°C/anno)

	ANNUO	INVERNALE	PRIMAVERILE	ESTIVO	AUTUNNALE
<i>Temp.Max. Veneto 1956-2004</i>	0.046 **	0.046 **	0.045 **	0.056 **	0.028 **

** = trend significativo a $p < 0.01$

3.2.3. Temperature Massime Mensili

Analizzando la distribuzione delle temperature massime mensili medie del periodo, si individua nel mese di luglio il più caldo con un valore medio pari a 28°C. Mentre il mese più freddo risulta essere quello di gennaio con una temperatura mensile media pari a 4.8°C.

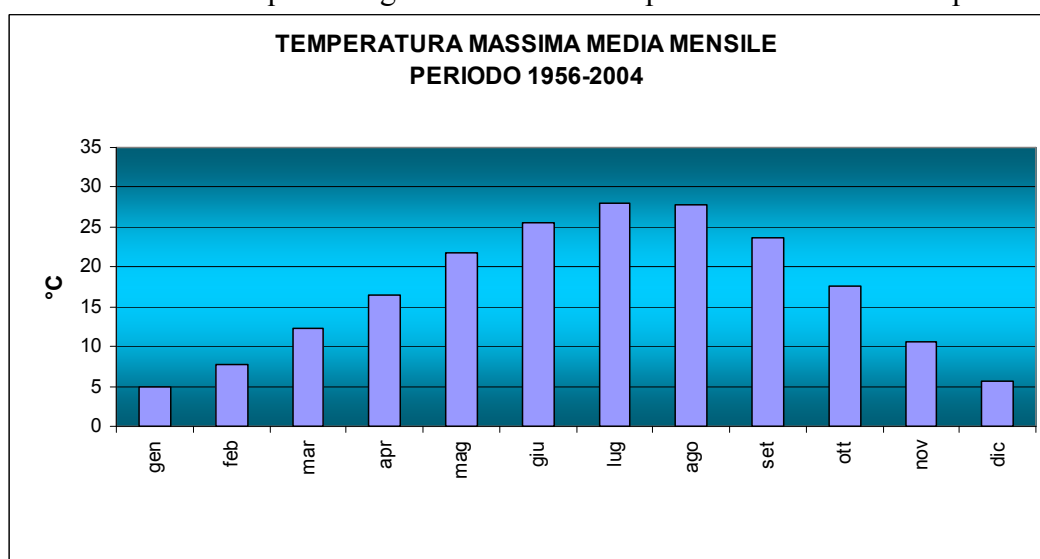


Figura 83: temperature massime medie mensili del periodo 1956-2004

L'andamento mensile degli scarti delle temperature massime medie mette in evidenza come i mesi di marzo e agosto siano quelli che hanno avuto dopo il 1989 gli incrementi medi più sensibili della temperatura massima media, pari rispettivamente a 2.3 e 2.4 °C. I mesi di settembre e ottobre al contrario, presentano di valori di incremento minore dopo il 1980, rispettivamente pari a 0.4 e 0.6°C.

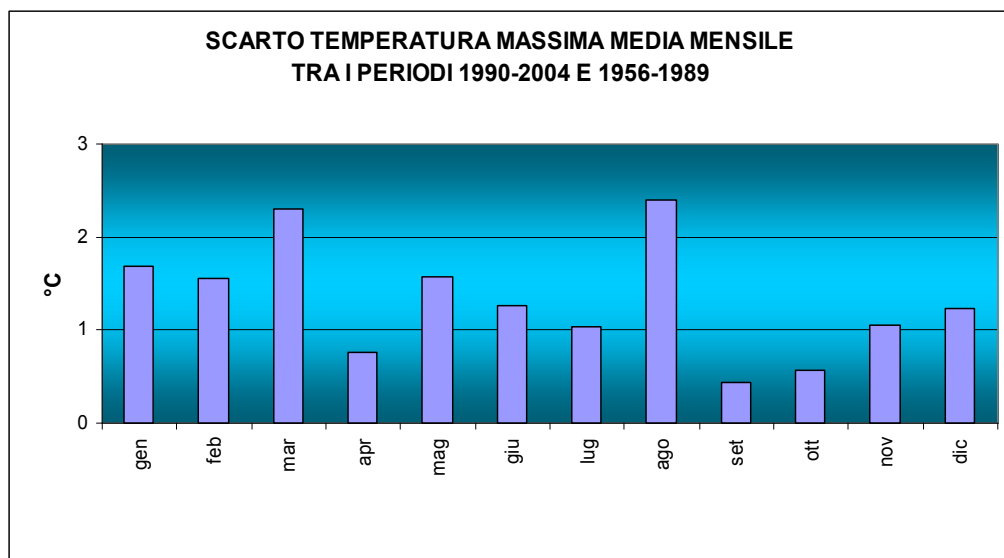


Figura 84: scarti temperature massime medie tra i periodi 1956-1989 e 1990-2004

3.2.4. Temperature Massime Decadali

Il grafico delle medie decadali mette in evidenza la distribuzione tipica delle temperature. Le decadi con le temperature massime medie più alte si sono registrate nella terza decade di luglio e nella prima di agosto. Le decadi più fredde del periodo risultano mediamente essere la prima e l'ultima dell'anno.

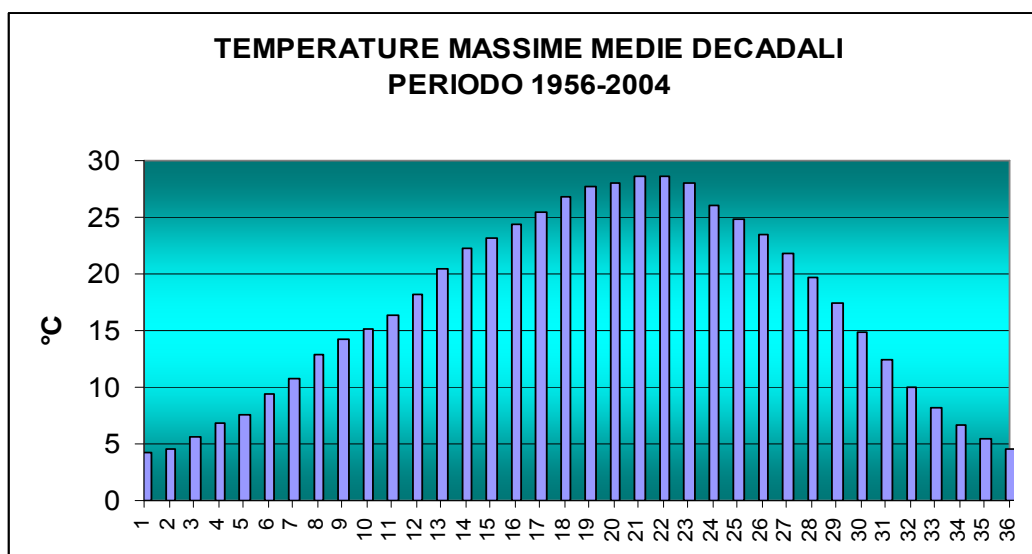


Figura 85: temperature massime medie decadali del periodo 1956-2004

La distribuzione degli andamenti termometrici decadali prima e dopo il 1989 mette in evidenza come la terza decade di agosto e la seconda di marzo presentino l'incremento medio post 1989 più sensibile, di 3, 3.8 °C circa. Mentre lo scarto positivo minore, compreso tra 02-05°C, si è registrato nella terza decade di marzo e nelle prime due di aprile, nelle tre decadi di settembre, nella prima e terza decade di ottobre. E' interessante notare come nell'ultima decade di aprile risulta un decremento delle temperature massime medie di circa -0.3 °C. L'incremento medio decadale delle temperature massime nei 49 anni risulta essere di circa 1.3°C.

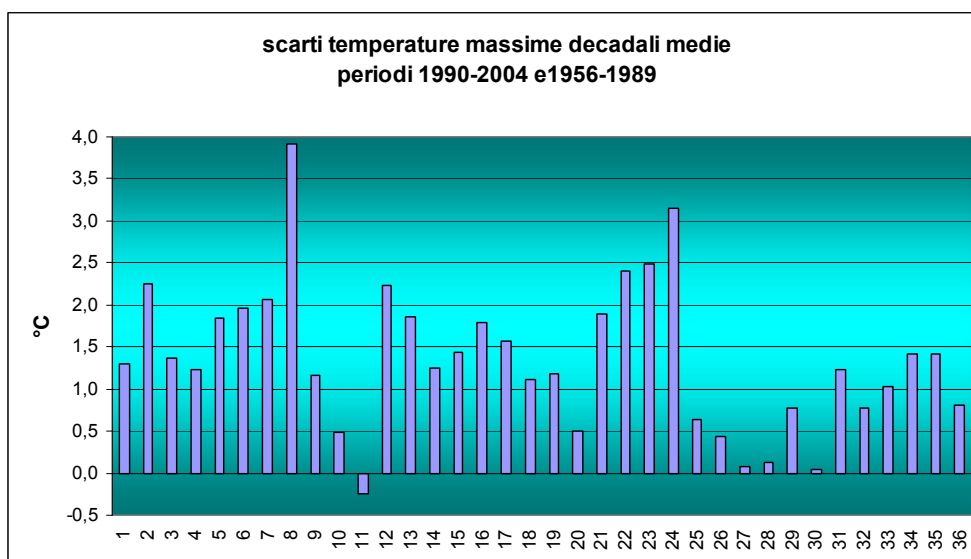


Figura 86: scarti temperature massime medie decadali dei periodi 1956-1989 e 1990-2004

3.2.5. Temperature Massime Giornaliere

Le temperature massime giornaliere riassumono quanto detto in precedenza. Sempre a titolo di curiosità, nei 49 anni considerati i giorni mediamente più caldi sono stati il 2 ed il 3 agosto (29.2°C) e il giorno con temperatura massima media più bassa è risultato essere il 10 gennaio (3.9°C).

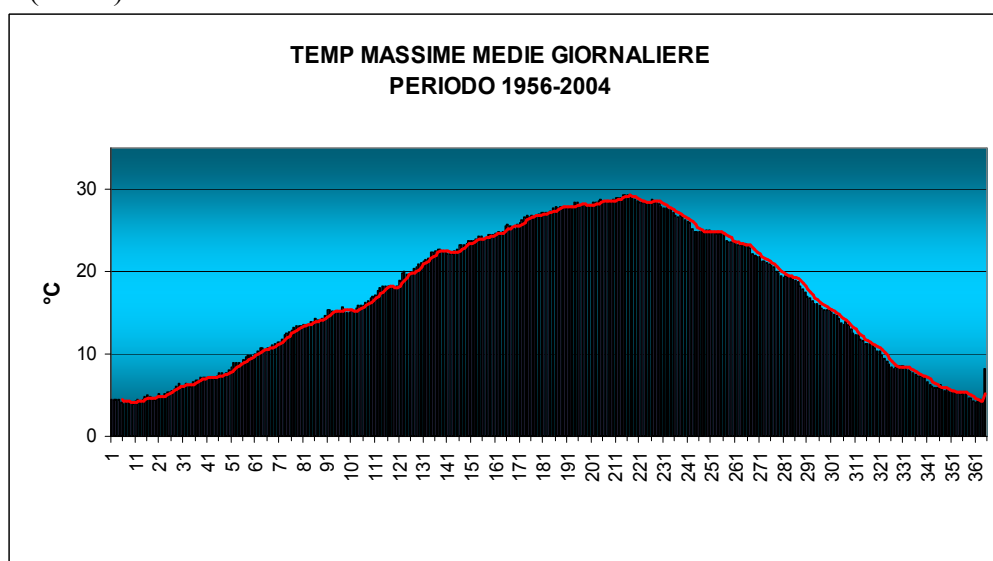


Figura 87: temperature massime giornaliere medie del periodo 1956-2004

Gli scarti, ottenuti dalla differenza dei valori medi giornalieri per stazione, pre e post 1989, ribadiscono come il loro segno sia in genere positivo eccetto che nei giorni di transizione tra la stagione invernale - primaverile ed estivo - autunnale ed alcuni giorni compresi tra l'11 ed il 15 luglio.

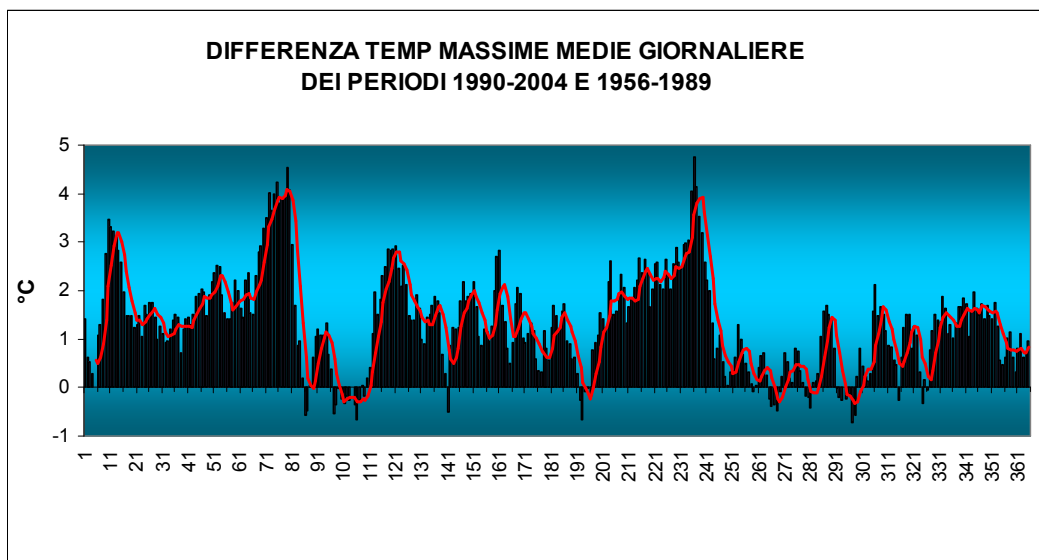


Figura 88: scarti temperature massime medie giornaliere tra i periodi 1990-2004 e 1956-1989

3.3. TEMPERATURE MINIME

3.3.1. Trend Annui

Rappresentando graficamente la temperatura minima media annua calcolata sulle nove stazioni si evidenziano trend lineari positivi altamente significativi ($p < 0.01$) di 2.6°C ogni 100 anni ipotizzando che tale trend si ripeta inalterato nel prossimo secolo. La media del periodo pari a 6.8°C e la media mobile quinquennale (linea rossa) permettono di individuare a occhio nudo un andamento sostanzialmente stabile e altalenante fino alla fine degli anni '80, dove si instaura una decisa tendenza all'aumento delle temperature che sembra attenuarsi solo negli ultimi anni del periodo. Gli anni con le temperature medie minime più alte aumentano dopo il 1992. Infatti su 13 anni (dal 1992 al 2004) ben 12 (tutti eccetto il 1995) presentano valori medi minimi della temperatura superiori ai 7°C .

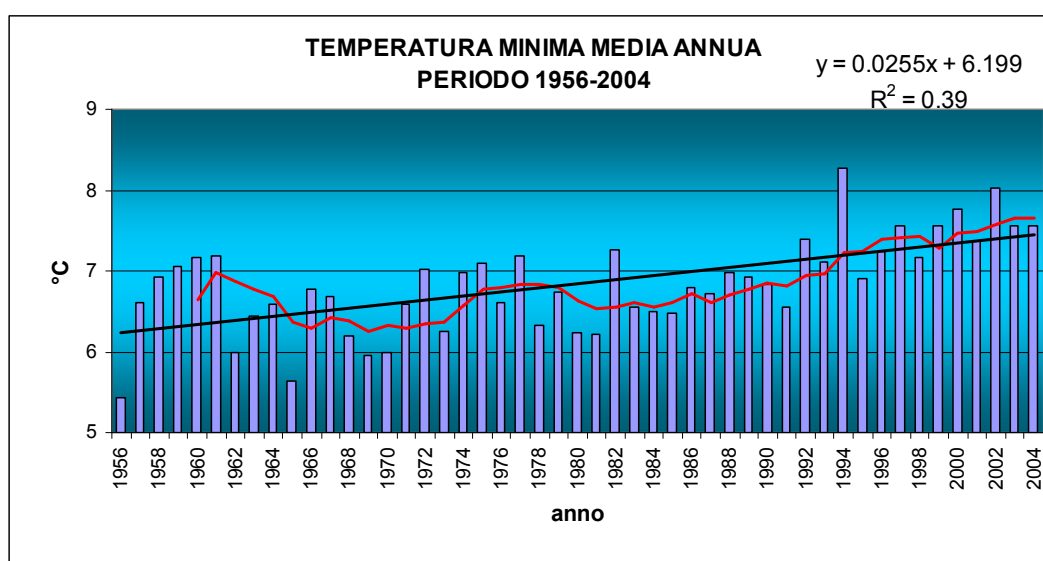


Figura 89: temperatura minima media del periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità evidenzia il punto di discontinuità nel 1991 intorno al quale si sono verificati per queste nove stazioni il 90% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato le temperature minime ad aumentare da un valore medio di 6.6°C ad un valore medio pari a 7.5°C per il periodo 1992-2004.

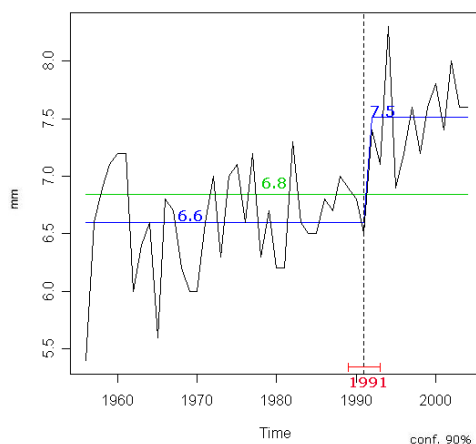


Figura 90: analisi di discontinuità delle temperature minime medie periodo 1956-2004

Analizzando l'andamento delle anomalie medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004, meglio si individuano meglio le entità e distribuzione degli scarti delle temperature minime medie annuali. Si evidenzia ulteriormente come dal 1992 tali scarti diventino tutti positivi con valori compresi tra 0 e 1°C, fatta eccezione per il 1994 ed il 2002 che presentano uno scarto dalla media del periodo superiore a 1°C.

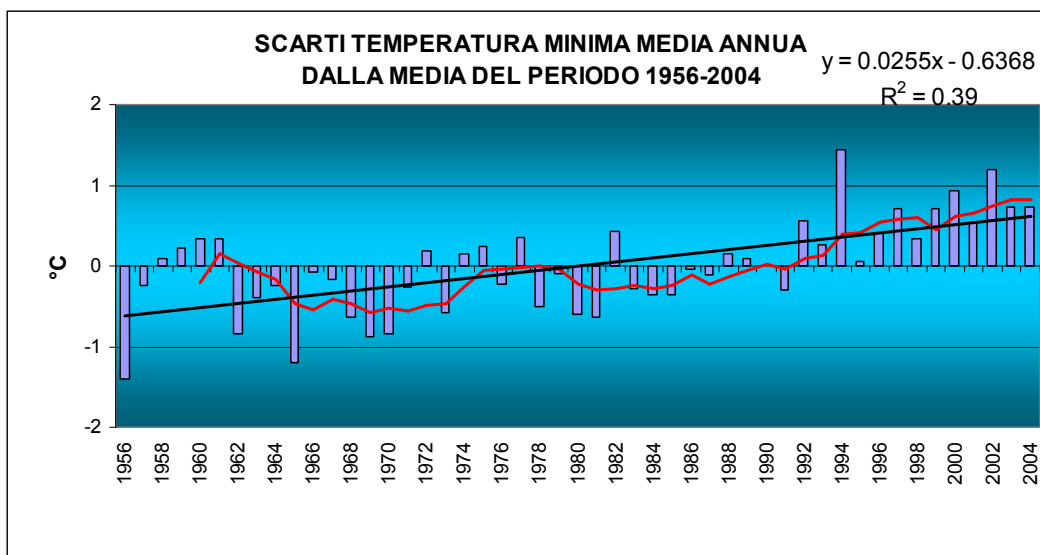


Figura 91: scarti delle temperature minime medie annue rispetto alla media del periodo 1956-2004

3.3.2. Temperature Minime Stagionali

Nel periodo storico considerato, le stagioni più “calde” risultano essere quella estiva (minima stagionale media pari a 15.1°C), seguita da quella autunnale (7.5°C) e da quella primaverile (6.2°C). La stagione più fredda è quella invernale con temperature minime medie pari a -1.6°C.

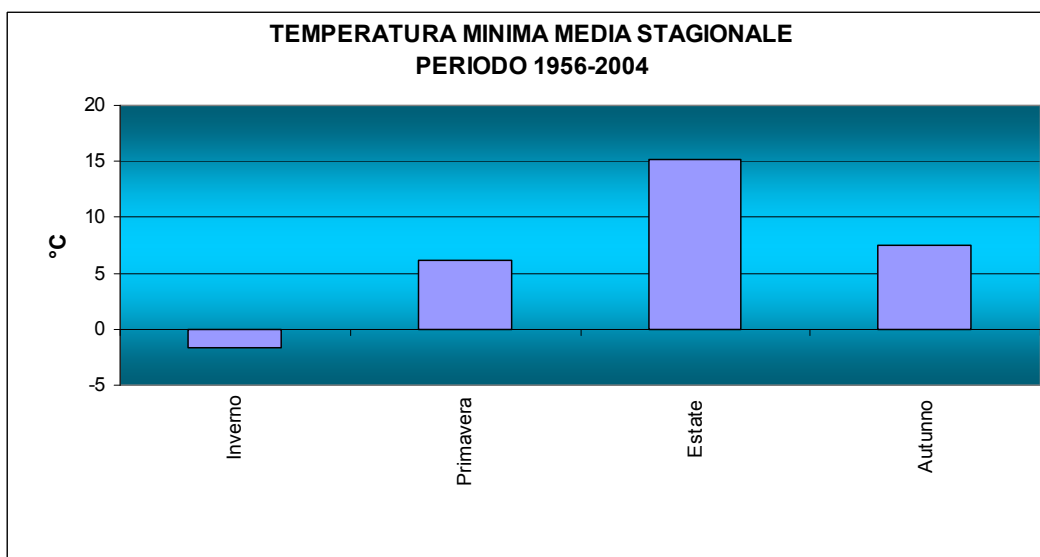


Figura 92: temperature minime medie stagionali del periodo 1956-2004

L'andamento stagionale medio degli scarti, ottenuto dalla differenza delle temperature minime medie prima e dopo il breakpoint del 1991, individua gli scarti maggiori in estate e autunno (1.2 e 0.8°C), seguiti dalla primavera e dall'inverno (0.7 e 0.6°C).

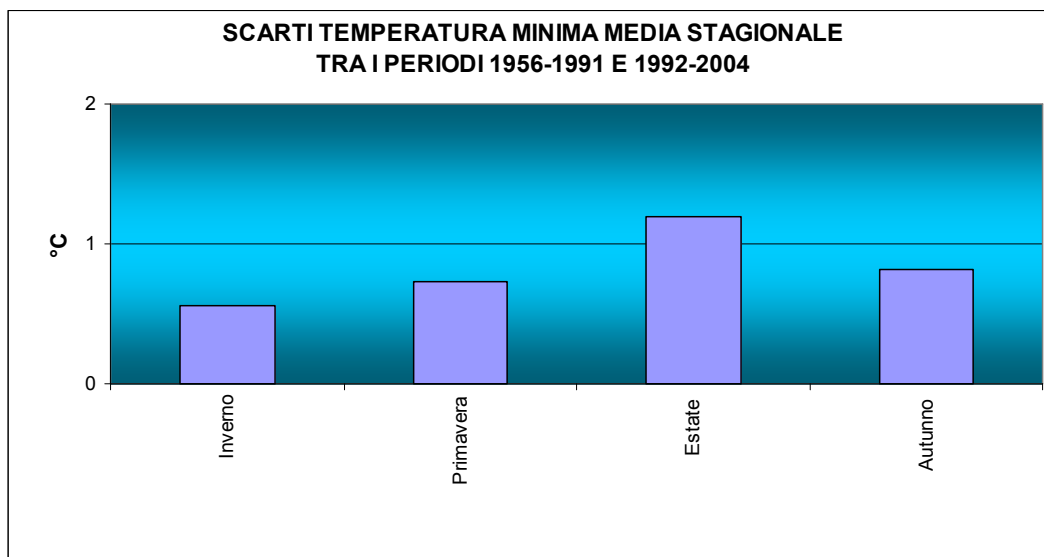


Figura 93: scarti temperature minime medie stagionali dopo il 1991

Primavera

Il trend delle temperature massime primaverili è in aumento con un trend significativo ($p < 0.05$) pari a $0.019^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, ovvero $1.9^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. E' evidente come fino al brusco aumento degli anni '90 i valori di temperatura primaverile siano stati caratterizzati da un'alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Le temperature minime medie primaverili variano da valori minimi compresi tra i 4 e 5 gradi del 1962, 1973, 1976, 1984 e 1987, ai valori massimi compresi tra i 7-8°C del 1986, 1989, 1994, 1999-2002. Il valore medio temperatura minima primaverile monitorata in queste 9 stazioni è pari a 6.2°C .

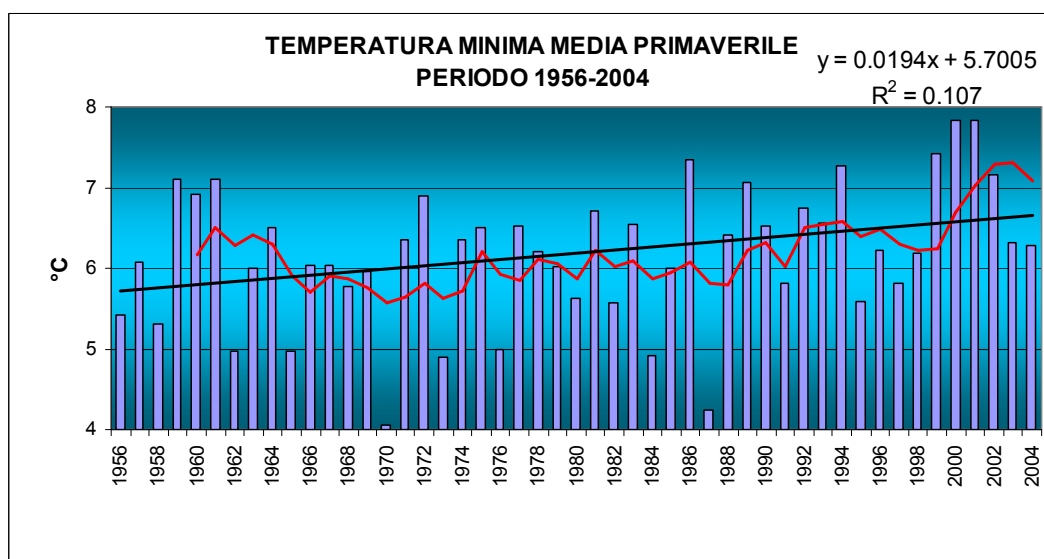


Figura 94: temperature minime medie primaverili del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media primaverile evidenziano come dagli anni '90 siano stati quasi sempre positivi e spesso compresi tra 0 e 1.5°C. Prima degli anni '90 si evidenzia il contrario, ovvero spesso gli scarti rispetto alla media del periodo sono negativi anche di -1, -2 °C.

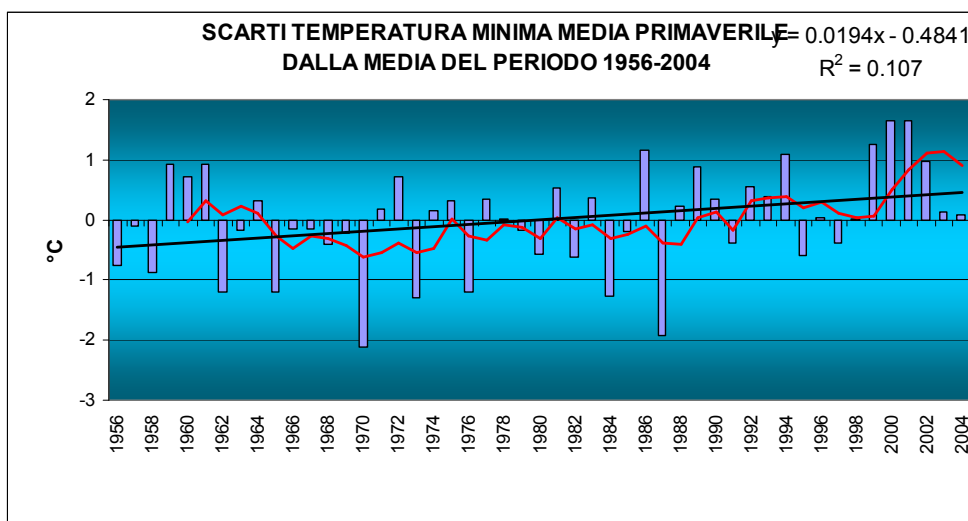


Figura 95: scarti delle temperature minime medie primaverili rispetto alla media del periodo 1956-2004

Estate

Il trend delle temperature minime estive è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a $0.042^\circ\text{C}/\text{anno}$, ovvero $4.2^\circ\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. E' evidente anche in questo caso come fino al brusco aumento degli anni 90 i valori di temperatura estivo siano stati caratterizzati da un'alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Le temperature minime medie estive variano da valori minimi compresi tra i 13 e 14 gradi del 1965, 1968 e 1969, ai valori massimi superiori ai 16°C del 1982, 1994, 1998, 1999, 2002 e 2003 che registra il valore di temperatura minima media estiva superiore di 18.3°C . Il valore medio della temperatura massima estiva monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a 15.1°C . E' interessante notare come gli anni responsabili dei valori più bassi di temperatura minima media estiva siano all'inizio del periodo considerato piuttosto lontani dagli anni novanta.

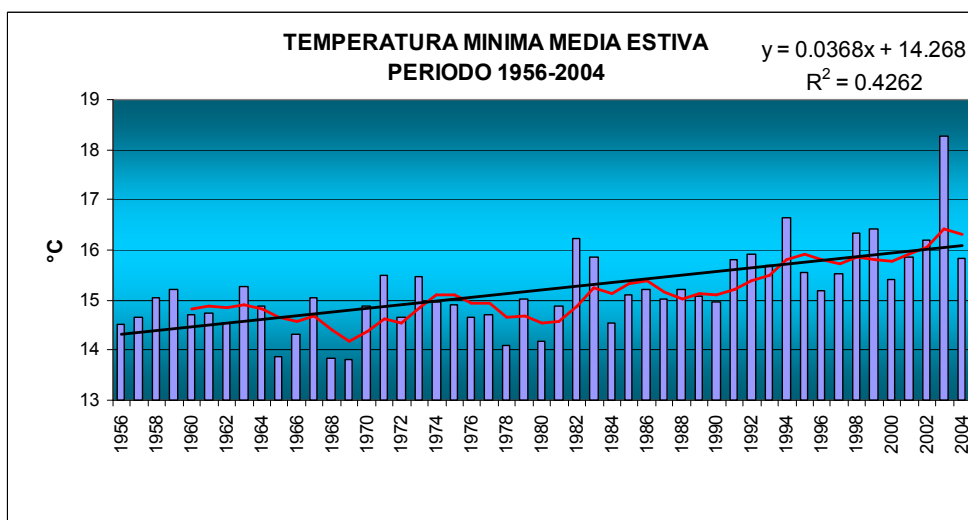


Figura 96: temperature minime medie estive del periodo 1956-2004

Anche gli scarti dalla media estiva del periodo evidenziano come quasi solo dopo gli anni '90 gli scarti delle temperature minime medie estive siano stati positivi con valori di poco superiori a 1 °C, o superiori di 3 gradi come nel 2003.

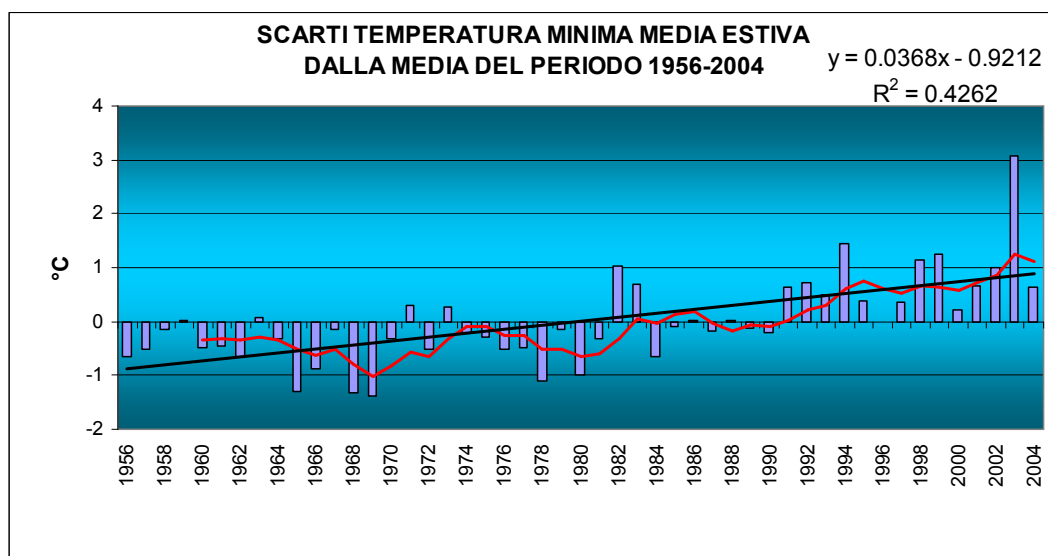


Figura 97: scarti delle temperature minime medie estive rispetto alla media del periodo 1956-2004

Autunno

Il trend delle temperature minime autunnali è in aumento con un trend significativo ($p < 0.05$) pari a $0.0205^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, ovvero $2.0^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. Le temperature minime medie autunnali variano da valori minimi, compresi tra i 5 e 6 gradi del 1971, 1972, 1978, ai valori massimi superiori agli $8\text{--}9^{\circ}\text{C}$ del 1958, 1961, 1963, 1966, 1982, 1987, 1994, 1997, 1999, 2000, 2002, 2004. Il valore medio della temperatura minima autunnale monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a 7.5°C . In questo caso è meno evidente un alternanza di fasi tra primi e gli ultimi anni della serie storica.

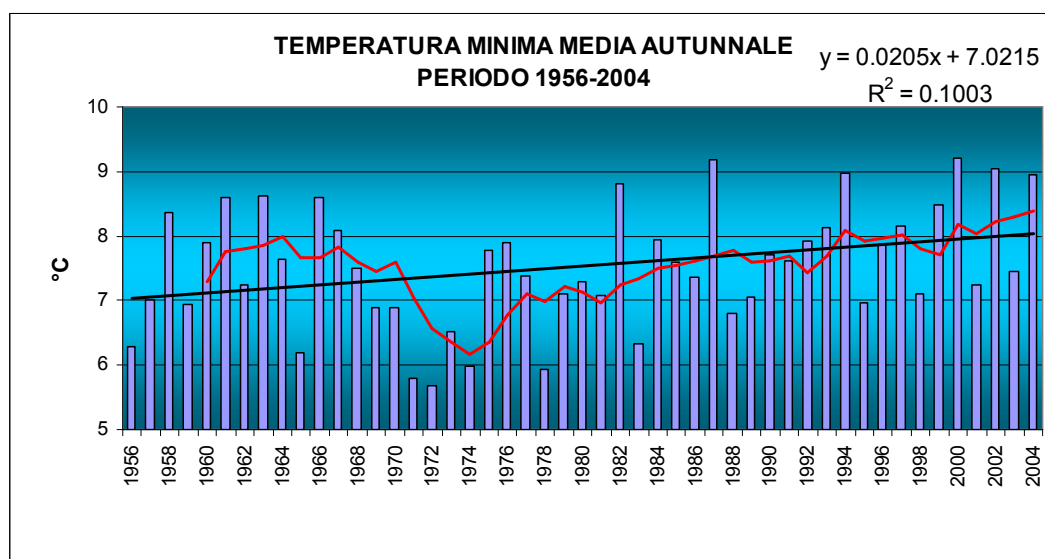


Figura 98: temperature minime medie autunnali del periodo 1956-2004

Anche gli scarti dalla media autunnale del periodo 1956-2004 testimoniano anni “caldi” all’inizio del periodo, seguiti negli anni ‘70-80 da un “raffreddamento” e da un successivo “riscaldamento”. Gli anni con scarti positivi sono più distribuiti sull’intero periodo.

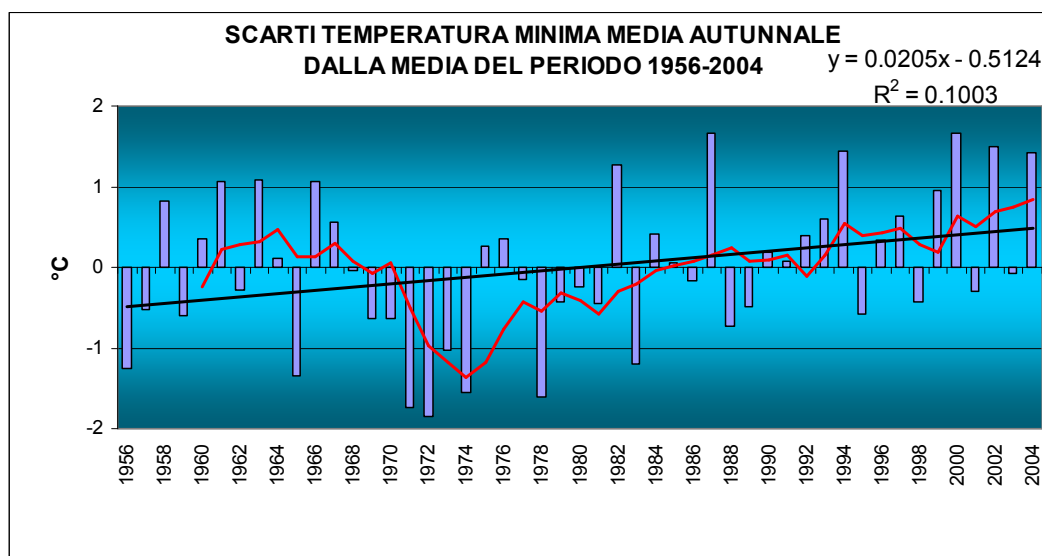


Figura 99: scarti delle temperature minime medie autunnali rispetto alla media del periodo 1956-2004

Inverno

Il trend delle temperature minime invernali è in aumento con un trend non significativo pari a $0.0131^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, ovvero $1.3^{\circ}\text{C}/\text{secolo}$, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. Le temperature minime medie invernali variano da valori minimi, compresi tra i -2 e -3 gradi circa, ai valori massimi superiori compresi tra 0 e 1°C . Il valore medio della temperatura massima invernale monitorata in queste 9 stazioni nel periodo 1956-2004 è pari a -1.6°C .

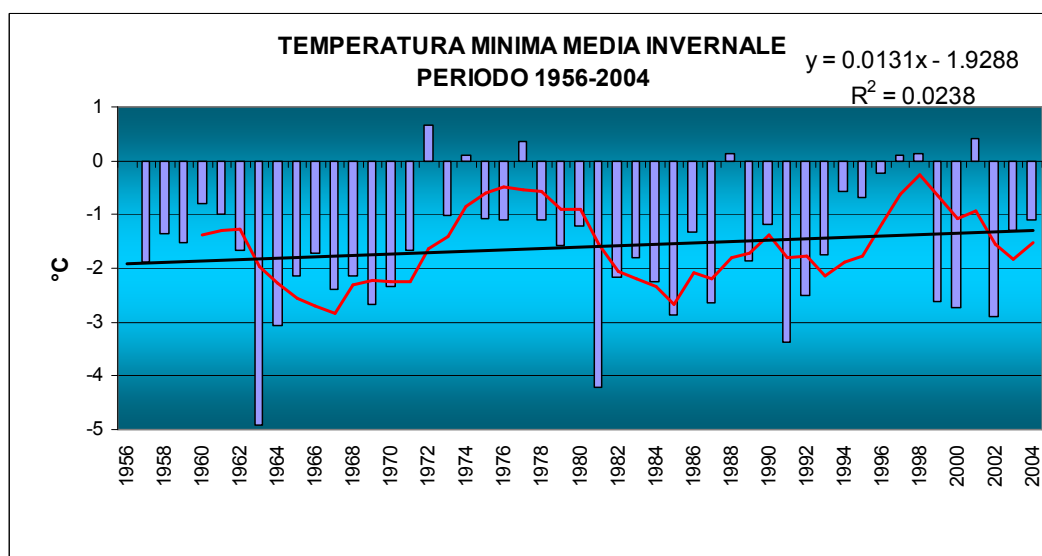


Figura 100: temperature minime medie invernali del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media invernale del periodo 1956-2004 e la media mobile, evidenziano l'alternanza abbastanza regolare di periodi con scarti positivi e negativi, lasciando intuire la mancanza di un trend significativo.

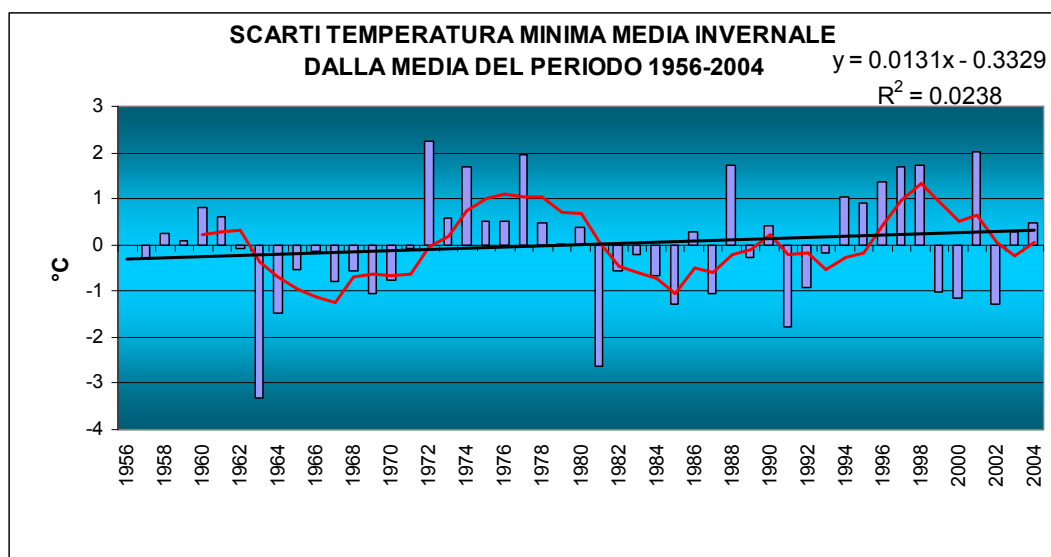


Figura 101: scarti delle temperature minime medie invernali rispetto alla media del periodo 1956-2004

Tabella 5: trend temperature minime stagionali (°C/anno)

	ANNUO	INVERNALE	PRIMAVERILE	ESTIVO	AUTUNNALE
<i>Temp.Min. Veneto 1956-2004</i>	0.046 **	0.013 *	0.019 *	0.036 **	0.02 *

** = trend significativo a $p < 0.01$; * = trend significativo a $p < 0.05$

3.3.3. Temperature Minime Mensili

Analizzando la distribuzione delle temperature minime mensili medie del periodo, si individua nel mese di luglio il più caldo con un valore medio di 15.9°C. Mentre il mese più freddo risulta essere quello di gennaio con una temperatura mensile media pari a -2.4°C.

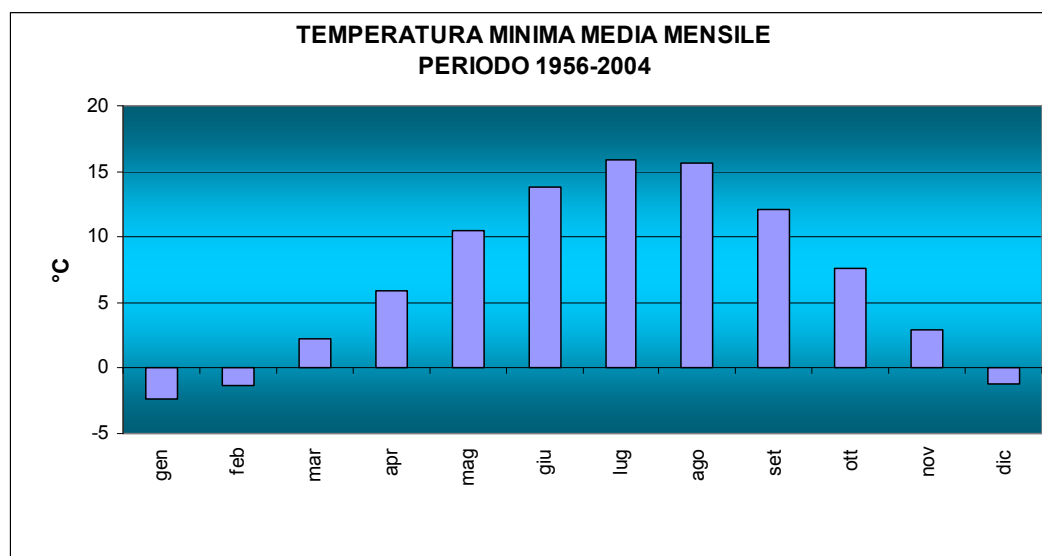


Figura 102: temperature minime medie mensili del periodo 1956-2004

L'andamento mensile degli scarti delle temperature minime medie mette in evidenza come i mesi di maggio e agosto siano quelli che hanno avuto dopo il 1991 gli incrementi medi più sensibili, pari rispettivamente a 1.6 °C. I mesi di febbraio e settembre, al contrario, presentano valori nulli o negativi degli scarti, rispettivamente pari a 0 e -0.1 °C.

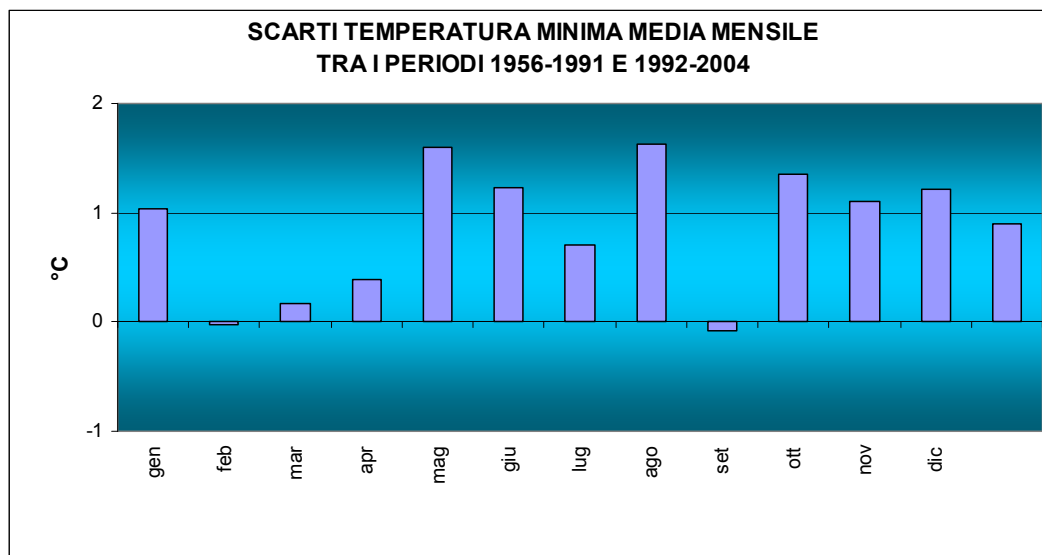


Figura 103: scarti temperature minime medie tra i periodi 1956-1991 e 1992-2004

3.3.4. Temperature Minime Decadali

Il grafico delle medie decadali mette in evidenza la distribuzione tipica delle temperature. Le decadi con le temperature massime medie più alte si sono registrate nella terza decade di luglio e nella prima di agosto. Le decadi più fredde del periodo risultano mediamente essere la prima e la seconda dell'anno.

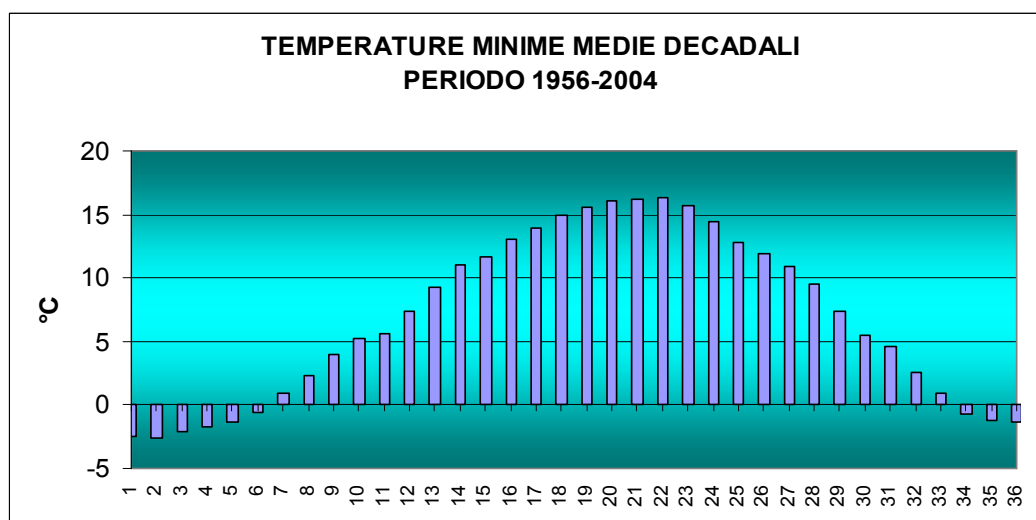


Figura 104: temperature minime medie decadali del periodo 1956-2004

La distribuzione degli andamenti termometrici decadali prima e dopo il 1991 mette in evidenza come la terza decade di aprile e la prima di dicembre presentino l'incremento medio post 1991 più sensibile, superiore di poco a 2°C. Mentre lo scarto minore è negativo,

di poco inferiore a -1°C , ed è registrato nella terza decade di marzo, nella prima di aprile, e nelle tre decadi di settembre come per le temperature massime. L'incremento medio decadale delle temperature minime nei 49 anni risulta essere di circa 0.9°C .

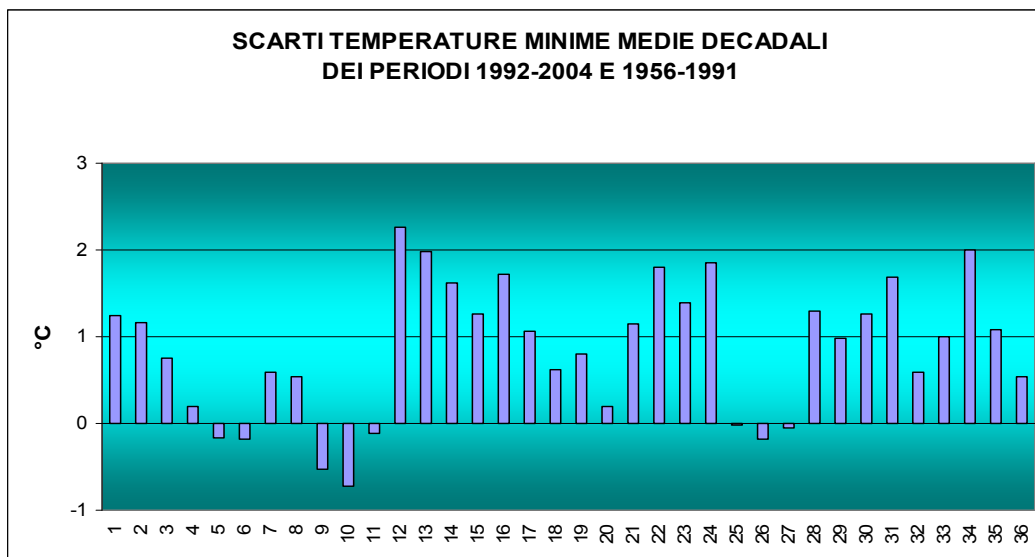


Figura 105: scarti temperature minime medie decadali dopo il 1991

3.3.5. Temperature Minime Giornaliere

Le temperature minime medie giornaliere riassumono quanto detto in precedenza. Per curiosità nei 49 anni considerati i giorni mediamente più caldi sono stati il 5 ed il 6 agosto (16.7°C). Invece, negli anni 56-2004, il giorno con temperatura minima media più bassa è risultato essere il 10 gennaio (-3.1°C).

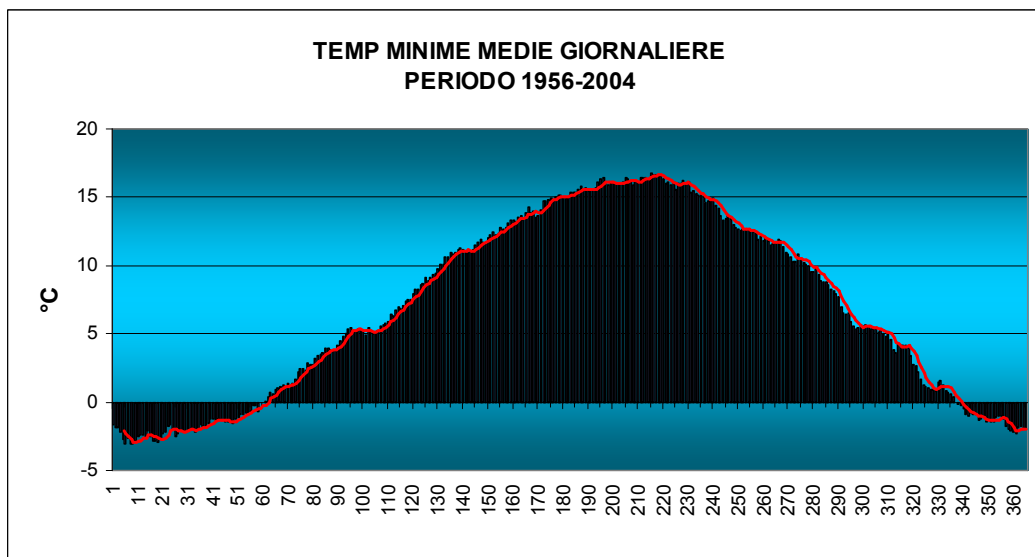


Figura 106: temperature minime medie giornaliere del periodo 1956-2004

Gli scarti, ottenuti dalla differenza dei valori minimi medi giornalieri per stazione, pre e post 1991, ribadiscono come il loro segno sia in genere positivo eccetto che a febbraio e,

come per le temperature massime, nei giorni di transizione tra la stagione invernale – primaverile, tra quella estiva - autunnale ed alcuni giorni compresi tra il 9 ed il 15 luglio.

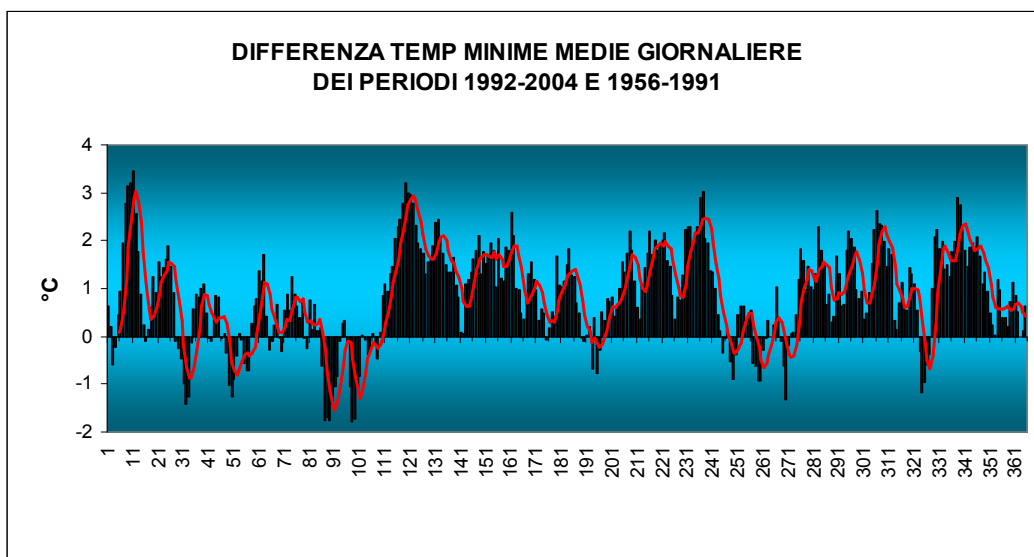


Figura 107: scarti temperature minime medie giornaliere del periodo 1956-2004

3.4. EVAPOTRASPIRAZIONE

3.4.1. Trend Annui

La rappresentazione spaziale di Kriging descrive una distribuzione media della evapotraspirazione di riferimento, individuando una parte centro meridionale di pianura con ET0 medie compresa tra 950 e 1000 mm. Spostandosi verso nord nella fascia pedemontana e poi montana tali valori medi annuali diminuiscono e si portano su valori compresi tra 800 ed i 850 mm. E' evidente una forte escursione evapotraspirativa legata alla latitudine.

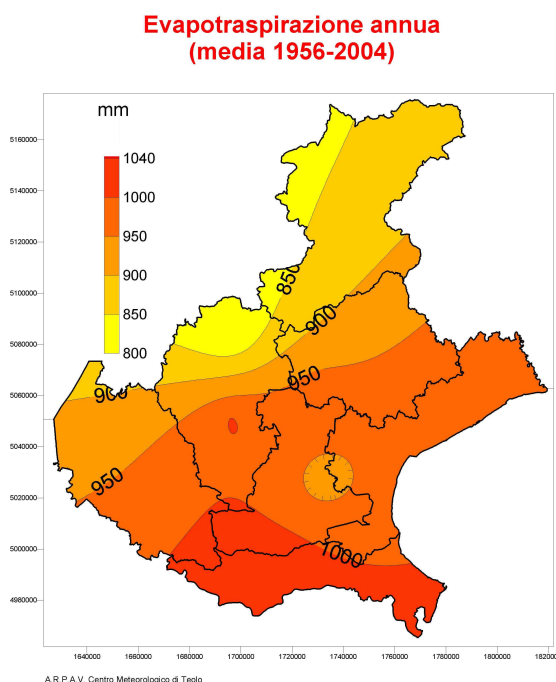


Figura 108: ET0 media annua in Veneto nel periodo 1956-2004

Rappresentando graficamente l'evapotraspirazione media di riferimento ET0, stimata con il metodo di Hargreaves, si evidenziano trend lineari positivi altamente significativi ($p < 0.01$) di 1.7 mm ogni anno e 170 mm ogni 100 per stazione anni ipotizzata che tale trend si ripeta inalterato nel prossimo secolo. La media del periodo pari a 954 mm e la media mobile quinquennale (linea rossa) permettono di individuare a occhio nudo un andamento sostanzialmente stabile e altalenante fino agli anni '90, dove si instaura un incremento che sembra attenuarsi solo negli ultimi anni del periodo. Gli anni con valori evapotraspirativi maggiori si concentrano dopo il 1996. Infatti su 8 anni (dal 1997 al 2004) 5 anni (1997, 1998, 2000, 2001, 2003) presentano valori medi della ET0 compresi tra 1000 e 1050 mm. Solo il 2003 si porta su valori stimati di ET0 vicini a 1100 mm. Anche il grafico degli scarti annui dalla media del periodo 1956-2004 individua gli scarti degli ultimi anni compresi tra i 50 ed i 100 mm, fatta eccezione per il 2003 dove si superano abbondantemente i 100mm di scarto.

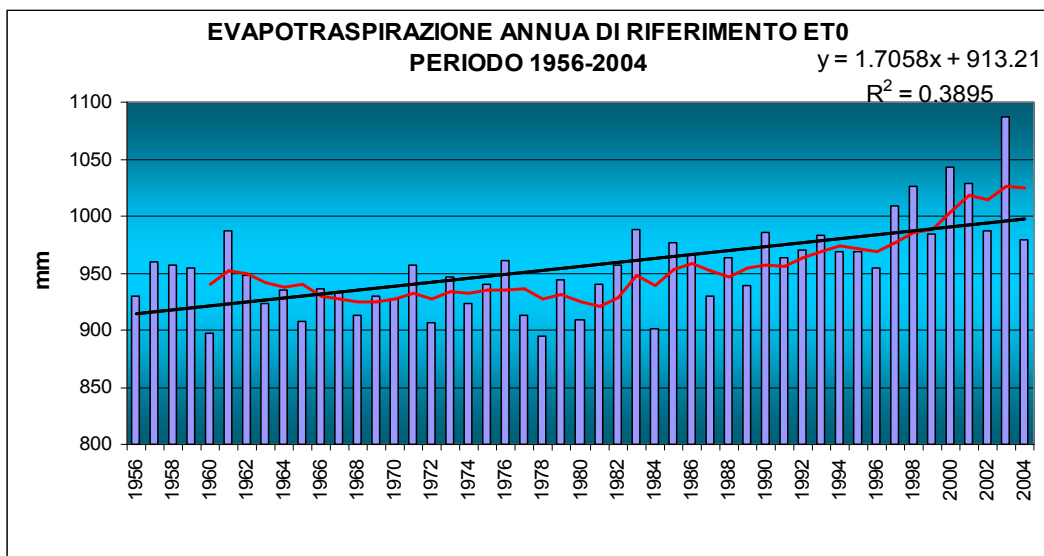


Figura 109: ET0 di riferimento media annua. Periodo 1956-2004

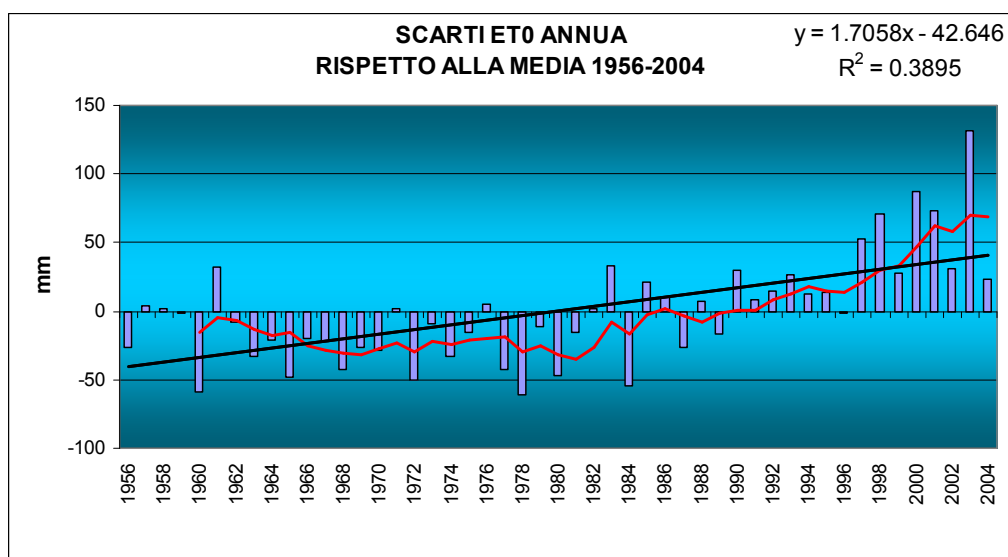


Figura 110: scarti ET0 media annua di riferimento dalla media del periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point (punto di discontinuità) permette di evidenziare meglio il punto discontinuità del 1996 intorno al quale si sono verificati per queste nove stazioni il 90% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato l'ET0 a crescere da un valore medio di 944 ad un valore medio pari a 1018 mm per periodo 1997-2004.

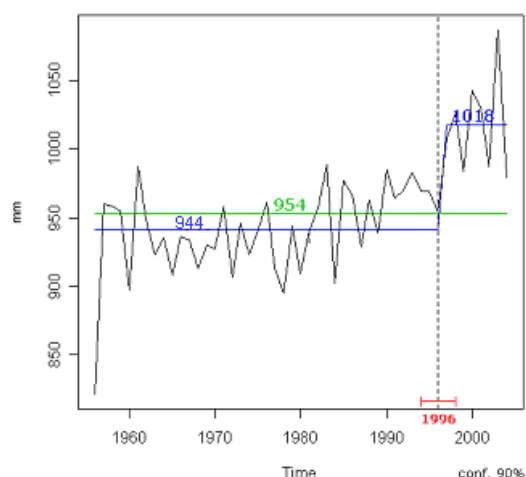


Figura 111: analisi di discontinuità della evapotraspirazione di riferimento annua, periodo 1956-2004

Individuato il punto di discontinuità, è possibile descrivere a livello territoriale l'andamento dell'evapotraspirazione annua di riferimento prima e dopo il 1996. Si nota come le isolinee di più alta ET₀ localizzate sul Polesine “migrino” verso nord occupando la parte di pianura centrale dove era localizzata l'isolinea di 950mm, che a sua volta si sposta verso la pedemontana, “sostituendosi” alla isolinea di 900 mm.

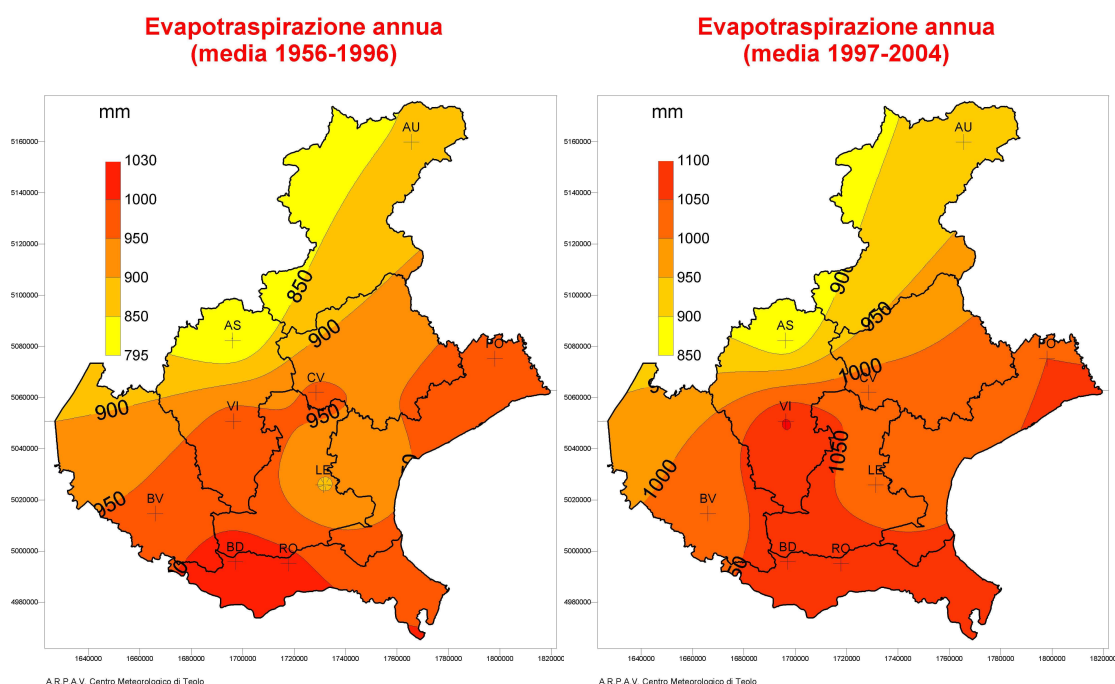


Figura 112: ET₀ media annua prima e dopo il break-point del 1996

E' interessante sottolineare che, se confrontiamo gli scarti dell'ET₀ del periodo 1970-2000 con quelli del periodo 1956-2004 la differenza non è molto marcata mentre considerando come periodo di riferimento il 1960-1990, ovvero il trentennio più “freddo”, è possibile esaltare gli scarti che risultano essere molto maggiori rispetto a quelli dei 49 anni considerati.

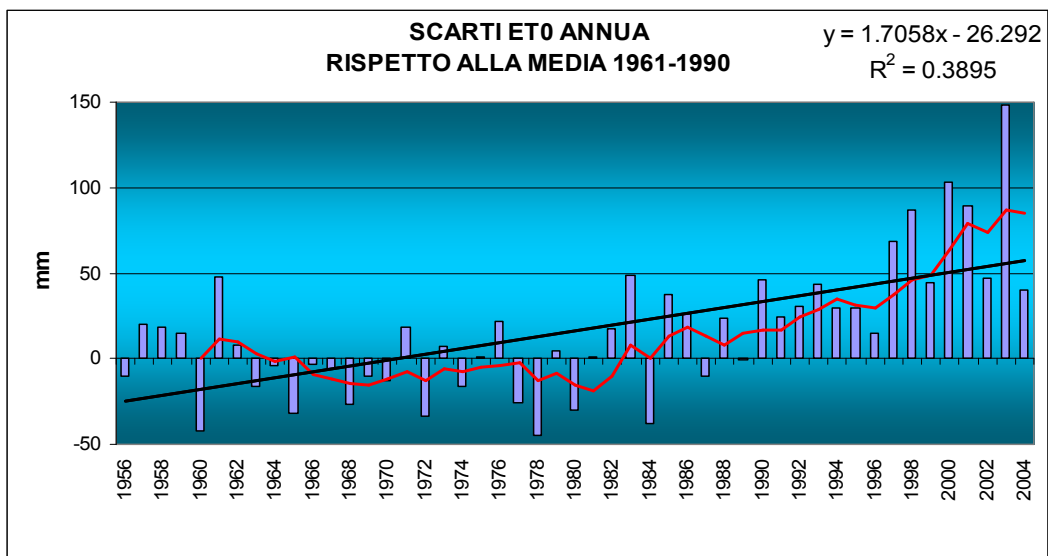


Figura 113: scarti ET0 media annua di riferimento dalla media del trentennio periodo 1960-1990

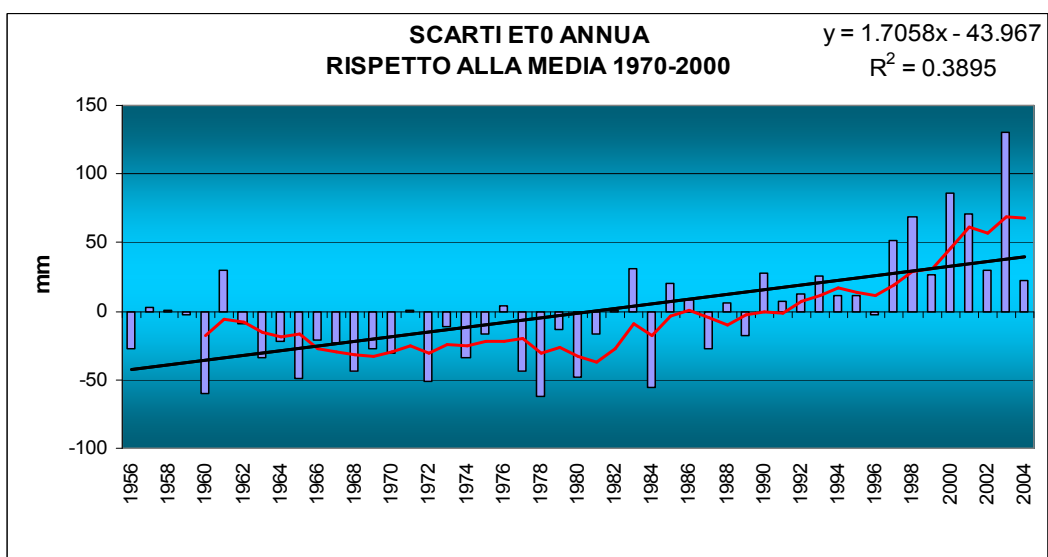


Figura 114: scarti ET0 media annua di riferimento dalla media del periodo 1970-2000

3.4.2. Trend Stagionali

Le stagioni con ET₀ maggiore risultano essere rispettivamente quella estiva, primaverile, autunnale ed invernale con valori medi stagionali pari a circa 450, 270, 170 e 60mm.

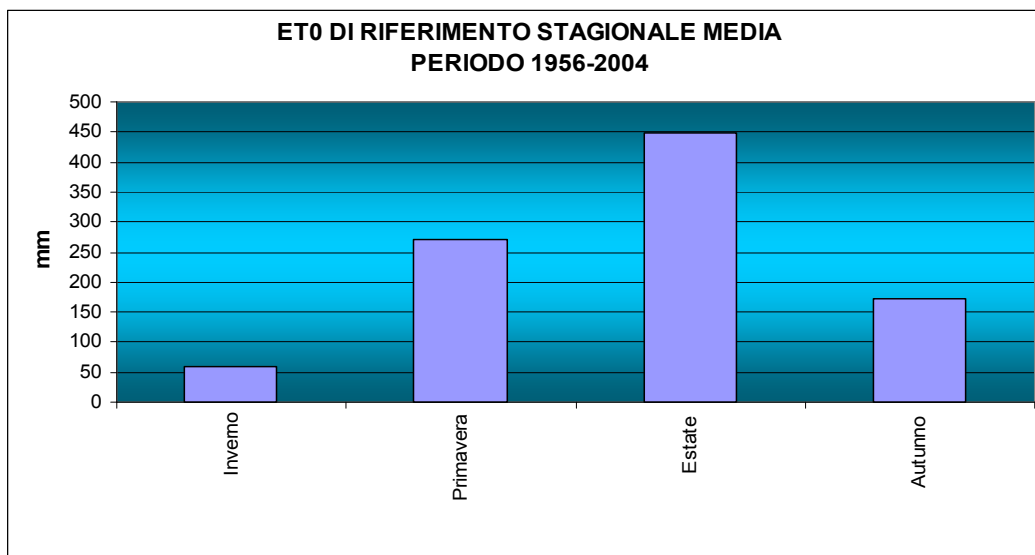


Figura 115: ET₀ di riferimento stagionale media del periodo 1956-2004

Annualmente l'ET₀ media è aumentata di circa 74mm. L'andamento stagionale medio degli scarti per ciascuna stazione, ottenuto dalla differenza dell'ET₀ medie prima e dopo il breakpoint del 1996, individua gli scarti più positivi rispettivamente in estate (circa 37 mm), primavera (27mm), autunno (7.6 mm) e inverno (4.8 mm).

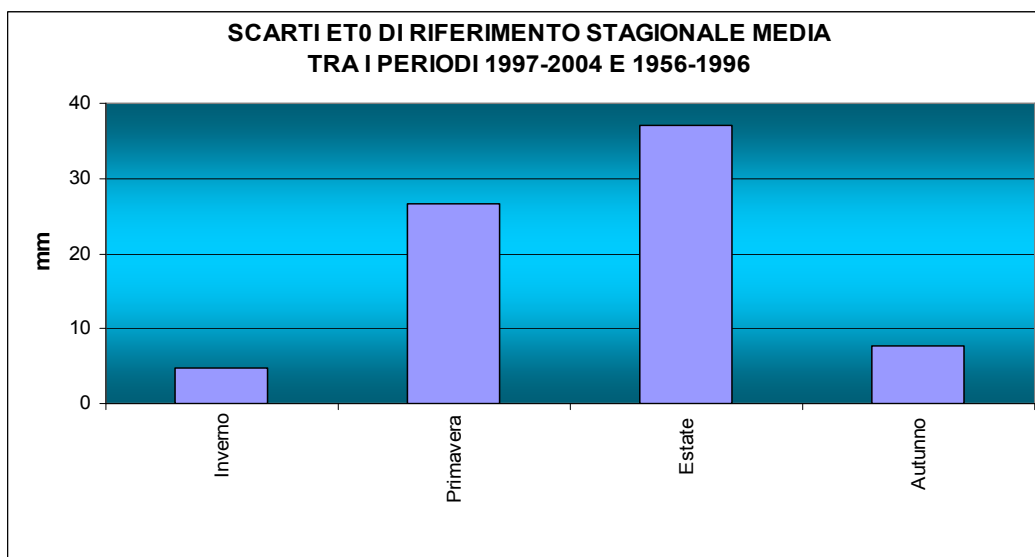


Figura 116: scarti ET₀ stagionali medie tra i periodi 1956-1996 e 1997-2004

Primavera

Il trend della evapotraspirazione di riferimento primaverile è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a circa 0.6mm/anno, ovvero 60mm /secolo, sempre

che tale andamento si ripeta regolarmente e consecutivamente per 100 anni. E' evidente come fino al brusco aumento degli anni '90 i valori di ET0 primaverile siano stati caratterizzati da una frequente alternanza di fasi di lievi aumenti e diminuzioni, ben evidenziati dalla media mobile. L'ET0 media primaverile varia da valori minimi compresi tra i 230 ed i 250 mm del 1970, 1978, 1994, ai valori massimi superiori ai 300 mm individuabili tutti dopo il 1990 negli anni del 1997, 2001 e 2003. Il valore medio della ET0 primaverile stimata in queste 9 stazioni è pari a 272 mm.

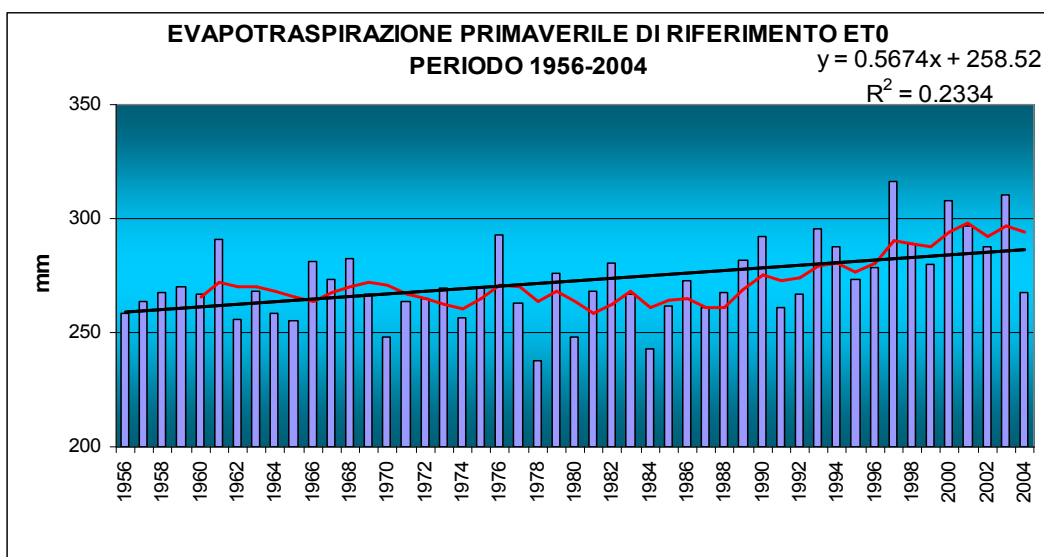


Figura 117: ET0 primaverile media annua del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media primaverile del periodo evidenziano come solo dopo il 1991 siano stati quasi sempre positivi. Prima degli anni '90 si evidenzia il contrario, ovvero spesso gli scarti rispetto alla media del periodo sono negativi anche di -40 mm (1991) °C.

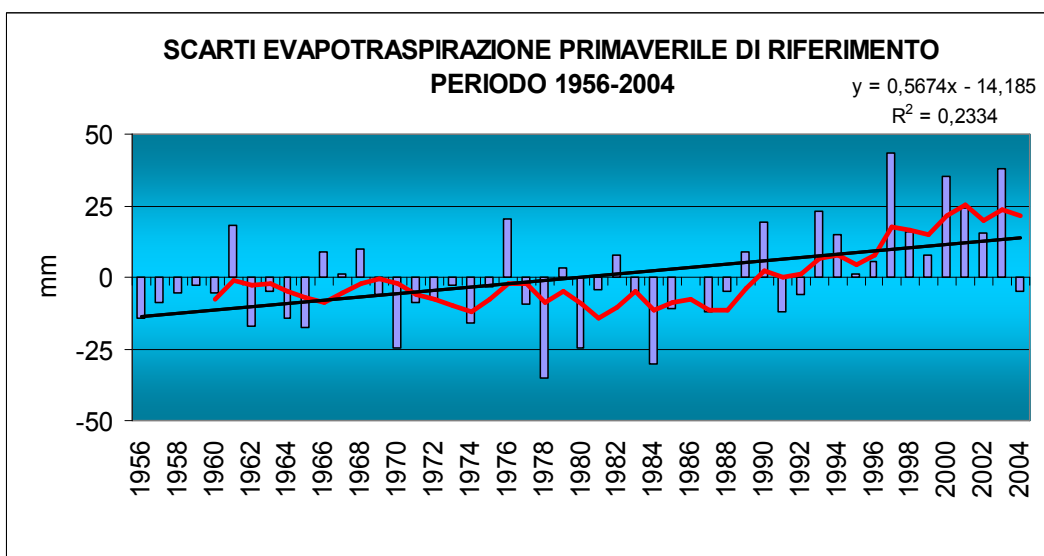


Figura 118: scarti ET0 primaverili medi annui rispetto alla media del periodo 1956-2004

Estate

Il trend della evapotraspirazione di riferimento estiva è in aumento con un trend altamente significativo ($p < 0.01$) pari a circa 0.8mm/anno, ovvero 80mm /secolo, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. E' evidente come anche in questo caso e fino agli anni '90, i valori di ET₀ estiva siano stati caratterizzati da una frequente alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. L'ET₀ media estiva variano da valori minimi, compresi tra i 400 e i 450 mm ai valori massimi superiori compresi tra i 450 e 500 mm, individuabili soprattutto dopo il 1990. Si nota il picco dell'estate calda del 2003 con valori stimati di circa 530 mm. Il valore medio della ET₀ primaverile stimata in queste 9 stazioni è pari a circa 450 mm.

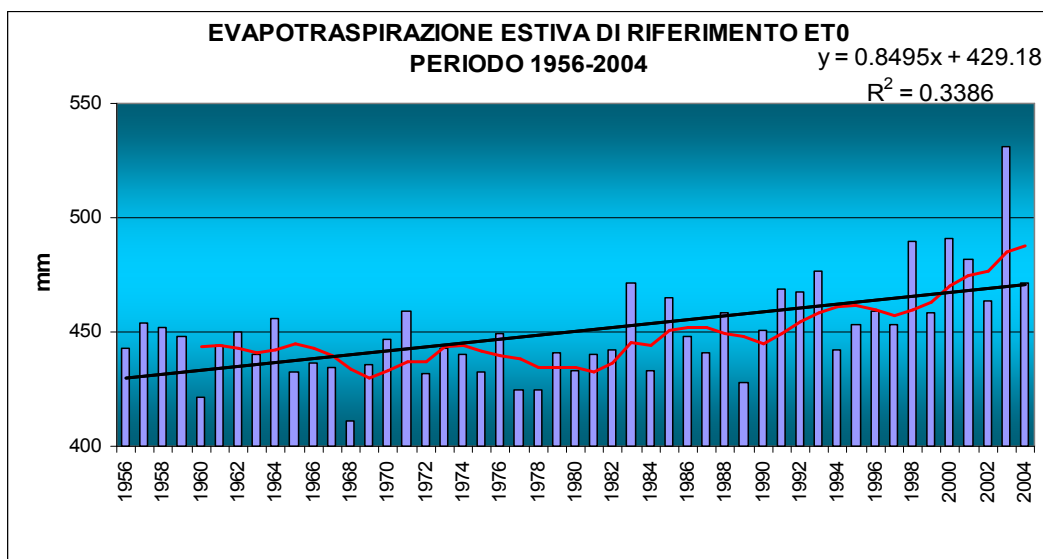


Figura 119: ET₀ estiva media annua del periodo 1956-2004

Gli scarti dalla media estiva del periodo mostrano dopo il 1991 siano stati quasi sempre positivi; si evidenzia il record dell'estate 2003 dove ciascuna stazione ha evidenziato circa 80 mm più di evapotraspirazione. Prima del 1991 si osserva il contrario, ovvero spesso gli scarti rispetto alla media del periodo sono negativi anche di -40 mm (1991) °C.

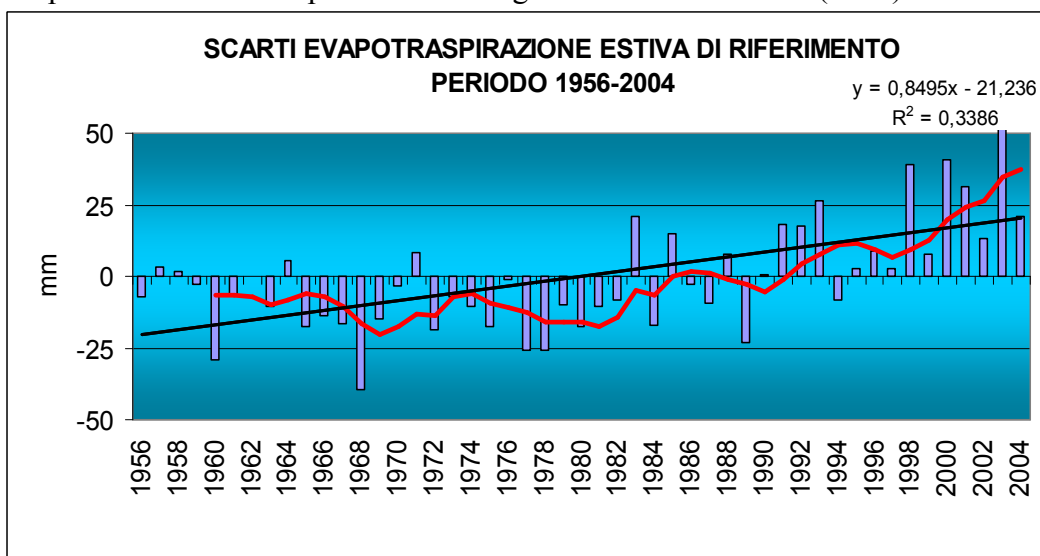


Figura 120: scarti ET₀ estiva media annua rispetto alla media del periodo 1956-2004

Primavera –Estate

Gli scarti dalla media primaverile-estiva del periodo evidenziano come solo dal 1990 in poi siano stati sempre positivi; emerge oeraltro il record del 2003 con circa 120 mm più di evapotraspirazione. Prima si aveva il contrario, ovvero quasi sempre gli scarti rispetto alla media del periodo sono negativi anche di -50 mm (1978) °C.

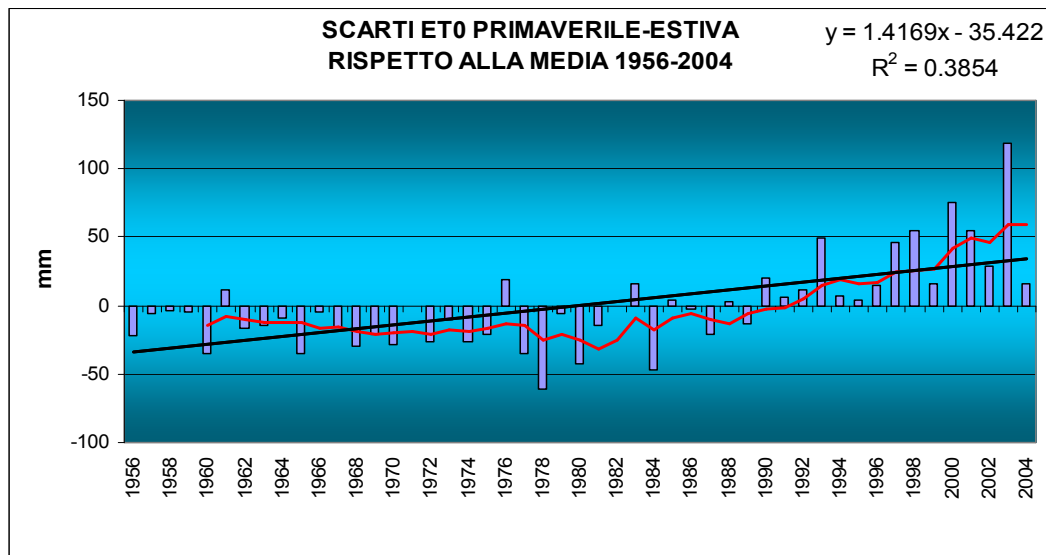


Figura 121: ET0 estivo-primaverile media-annua rispetto alla media del periodo 1956-2004

Complessivamente l'analisi di discontinuità mette in evidenza come la stagione primaverile-estiva presenti una aumento medio per stazione di circa 50 mm di ET0 di riferimento prima e dopo il 1989.

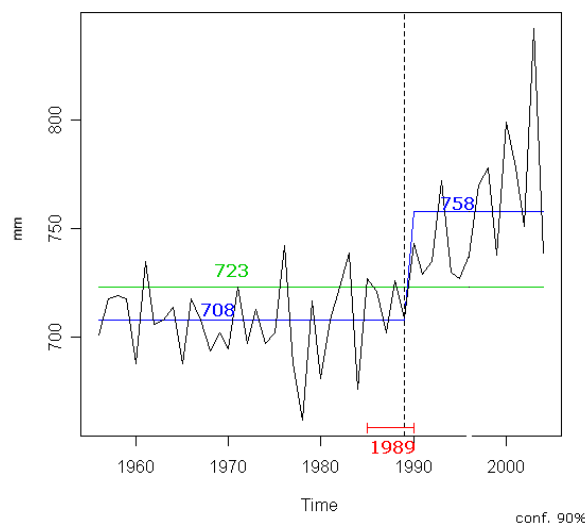


Figura 122: analisi di discontinuità della ET0 primaverile-estiva, periodo 1956-2004

Tabella 6: trend ET0 stagionali (mm/anno)

	ANNUO	PRIMAVERILE	ESTIVO
<i>ET0</i>	1.70 **	0.57 **	0.85 **

** = trend significativo a $p < 0.01$

3.4.3. ET0 Mensili

Analizzando la distribuzione della ET0 mensili medie del periodo, si individua nel mese di luglio (161mm) il mese maggiormente “evapotraspirativo” seguito da giugno (148mm) e agosto (140mm).

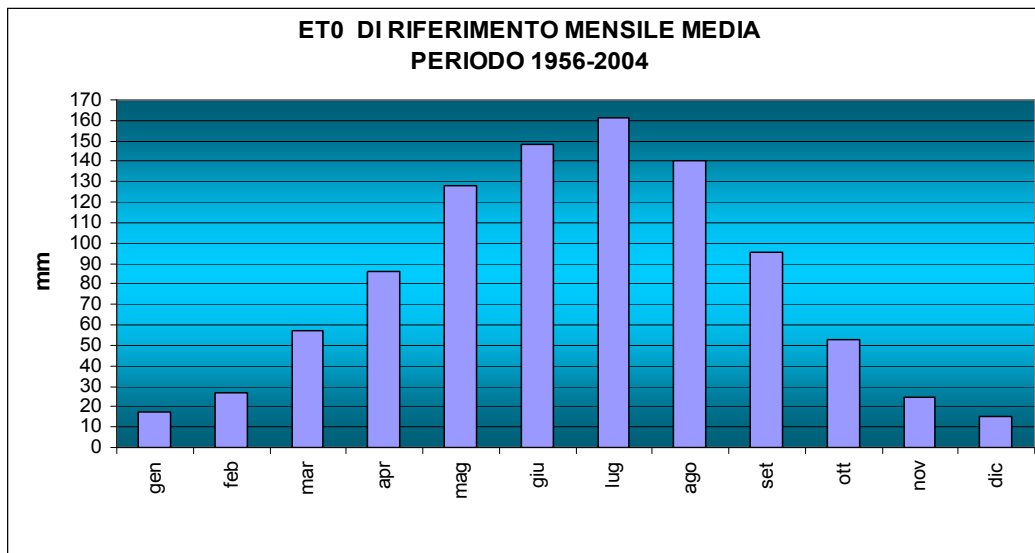


Figura 123: ET0 medie mensili del periodo 1956-2004

L'andamento mensile degli scarti delle ET0 medie mette in evidenza come i mesi di giugno e agosto siano quelli che hanno avuto dopo il 1996 gli incrementi medi più sensibili della evapotraspirazione media, pari rispettivamente a circa 14mm contro i circa 11 di maggio.

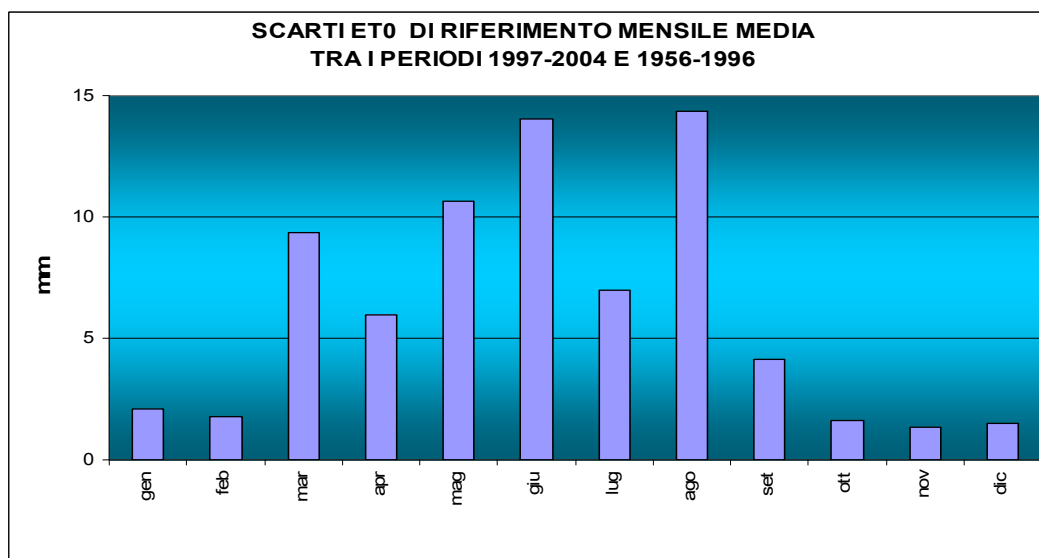


Figura 124: scarti ET0 mensili medie dopo il 1996

3.4.4. ET0 decadali

Il grafico delle medie decadali dell'ET0 mette in evidenza le decadi con la ET0 medie più alte si sono registrate a giugno e luglio. La terza decade di luglio risulta essere in assoluto quella con l'ET0 cumulata massima pari a 58.3 mm.

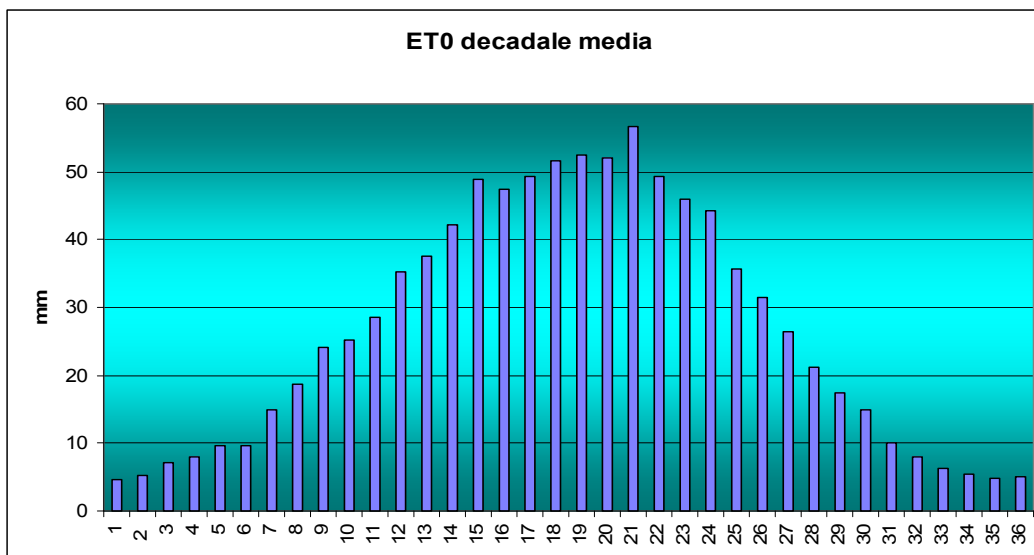


Figura 125: ET0 medie decadali del periodo 1956-2004

La distribuzione degli scarti evapotraspirativi decadali medi annui prima e dopo il 1996 mettono in evidenza come la prima decade di luglio, la prima e terza di settembre, presentino l'incremento medio post 1996 più sensibile, superiore di poco a 6mm. Mentre lo scarto minore è negativo, di poco inferiore a -1mm, ed è registrato nella seconda decade di marzo e nella prima di maggio.. L'incremento medio decadale della ET0 nei 49 anni risulta essere di circa 26.5mm.

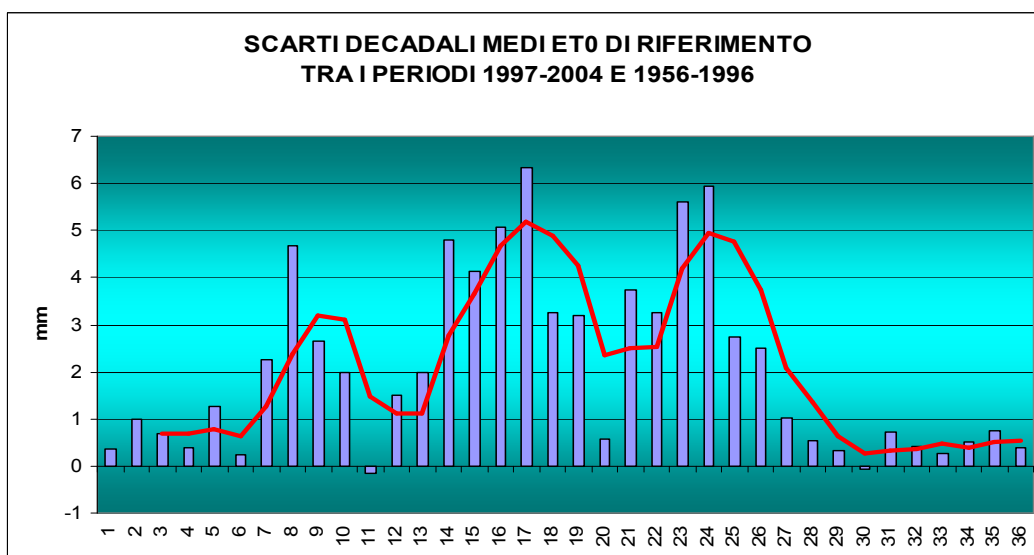


Figura 126: scarti ET0 medie decadali prima e dopo il 1996

3.4.5. ET0 giornaliera

Si può notare, a titolo di curiosità, che nei 49 anni considerati, i giorni mediamente più “evapotraspiranti” si ripetono spesso nei primi tra il 4 ed il 9 luglio.

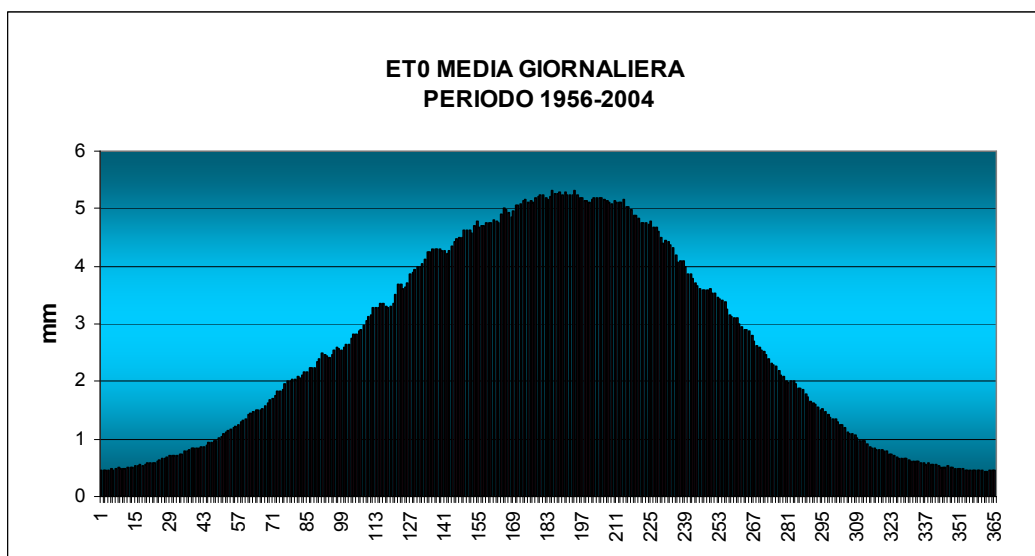


Figura 127: ET0 medie giornaliere del periodo 1956-2004

Gli scarti, ottenuti dalla differenza dei valori minimi medi giornalieri per stazione, pre e post 1996, ribadiscono come il loro segno sia in genere positivo eccetto che a febbraio, e come per le temperature massime, nei giorni di transizione tra la stagione invernale – primaverile (7-10 aprile), tra il 21-25 ottobre e tra il 12 ed il 14 luglio.

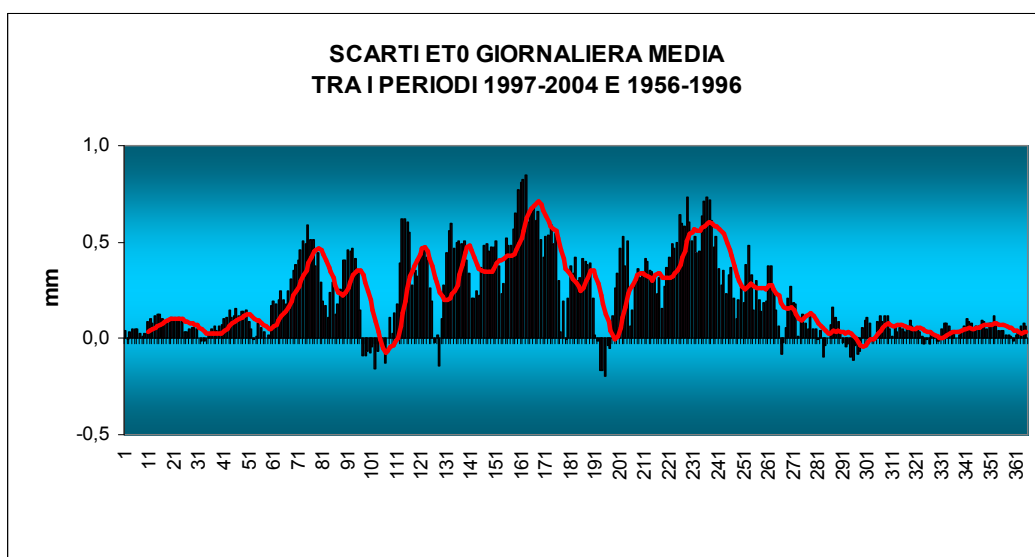


Figura 128: scarti ET0 medie giornaliere tra i periodi 1956-1996 e 1997-2004

Analizzando l'ET0 giornaliera media con quelle stagionali si notano le differenze che accompagnano l'avvicinarsi delle stagioni. L' ET0 di riferimento annuale è pari a circa

2.6mm significativamente in crescita ($p<0.1$) con un trend lineare pari a circa 0.49 mm/giorno ogni 100 anni.

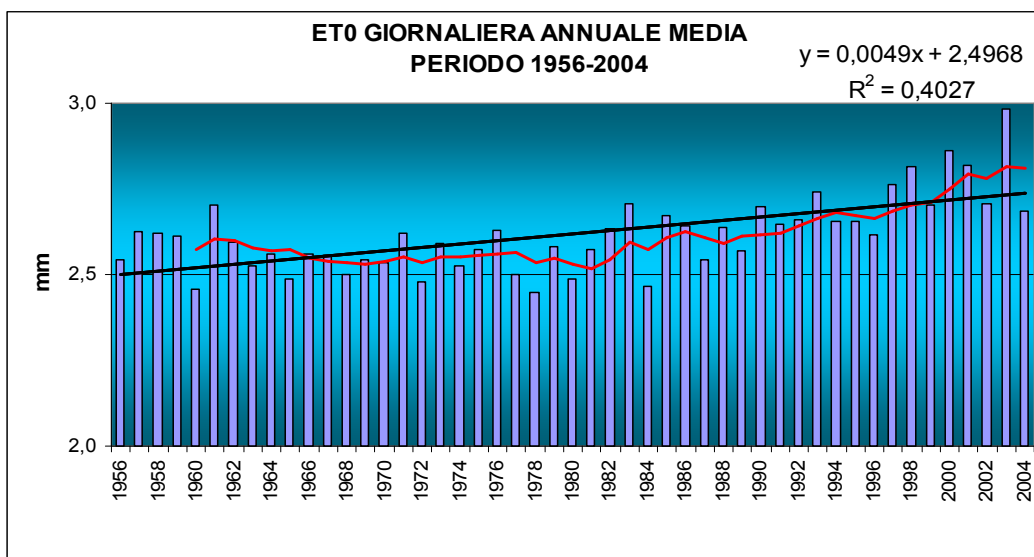


Figura 129: ET0 giornaliera annuale media, periodo 1956-2004

L' ET0 giornaliera di riferimento primaverile media è pari a circa 3mm significativamente in crescita ($p<0.1$) con un trend lineare pari a circa 0.68 mm/giorno ogni 100 anni.

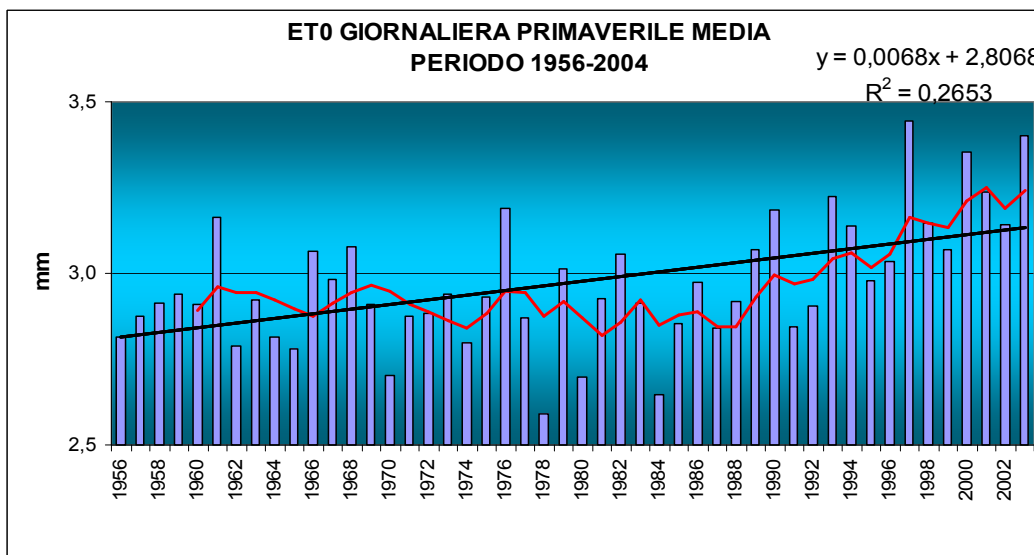


Figura 130: ET0 giornaliera primaverile media, periodo 1956-2004

L' ET0 giornaliera di riferimento estiva media è pari a circa 4.9 mm significativamente in crescita ($p < 0.1$) con un trend lineare pari a circa 0.93 mm/giorno ogni 100 anni.

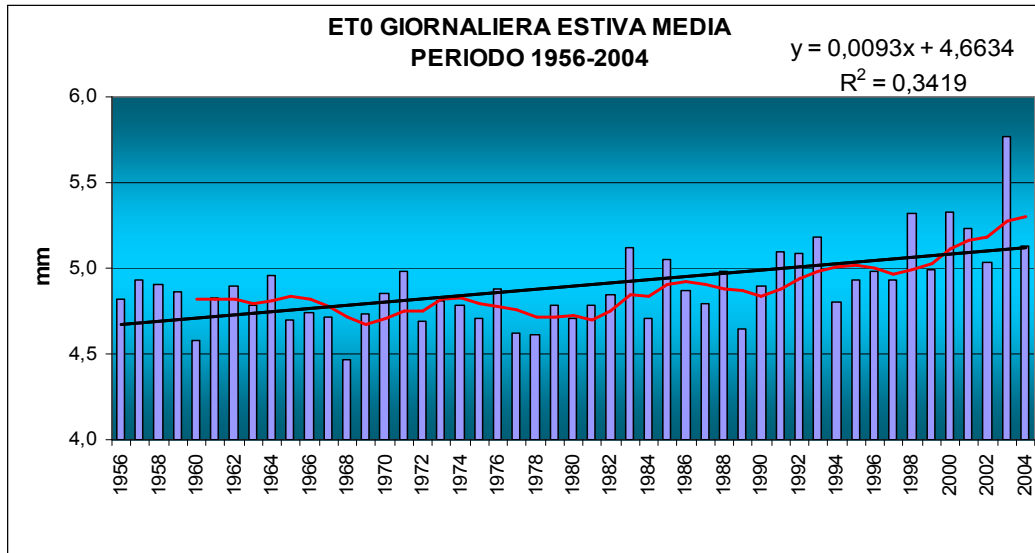


Figura 131: ET0 giornaliera estiva media, periodo 1956-2004

Il breakpoint per la ET0 di riferimento giornaliera estiva è individuato nel 1990. I valori pre e post punto di discontinuità sono rispettivamente 4.8 a 5.1 mm circa, con un incremento pari a circa 0.3 mm .

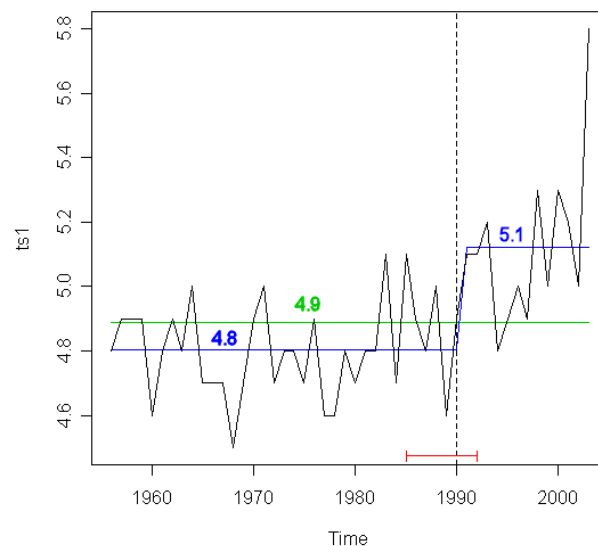


Figura 132: analisi di discontinuità della evapotraspirazione di riferimento giornaliera estiva, periodo 1956-2004

3.5. BILANCIO IDROCLIMATICO

3.5.1. Trend Annuo

La rappresentazione spaziale di Kriging descrive una distribuzione del bilancio idroclimatico regionale individuando una parte centro meridionale di pianura con valori compresi tra 0 e -350mm. Il segno negativo indica che, soprattutto nella parte meridionale della regione, le precipitazioni dell'anno non sono sufficienti a esaudire le richieste evapotraspirative annuali della coltura di riferimento. Spostandosi verso nord nella fascia pedemontana e poi montana tali valori medi annuali aumentano e si portano su valori compresi tra 0 ed i 750 mm. E' evidente una forte escursione positiva del B.I. dovuto soprattutto all'aumento delle precipitazioni pedemontane e montane ed alla contemporanea diminuzione della evapotraspirazione di riferimento.

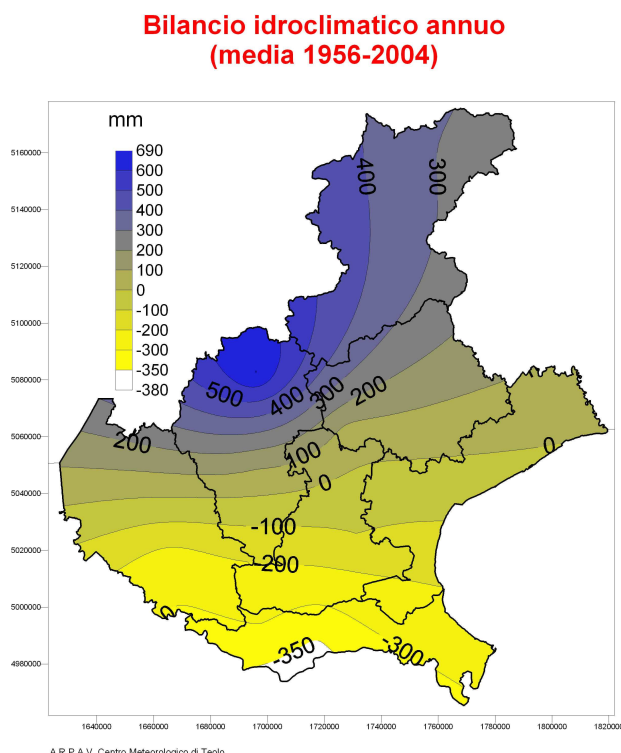


Figura 133: Bilancio Idroclimatico medio annuo del periodo 1956-2004

Rappresentando graficamente il Bilancio Idroclimatico (B.I.) ottenuto dalla differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione di riferimento (Hargreaves), si evidenziano trend lineari positivi significativi ($p < 0.05$) di -4,27 mm ogni anno e -427 mm ogni 100 per stazione anni ipotizzando che tale trend si ripeta inalterato nel prossimo secolo. La media del periodo pari a -23,5 mm e la media mobile quinquennale (linea rossa) permettono di individuare a occhio nudo un andamento e altalenante fino agli anni '80, dopo il quale il valore di B.I. si porta sotto la media per restarvi fino al 2004. Gli anni con valori di B.I. maggiori si concentrano prima del 1980, mentre gli anni con B.I. maggiormente negativo si concentrano chiaramente dopo il 1980. L'anno con B.I. negativo maggiore risulta essere stato il 2003 con valori medi annui per stazione di quasi -400 mm.

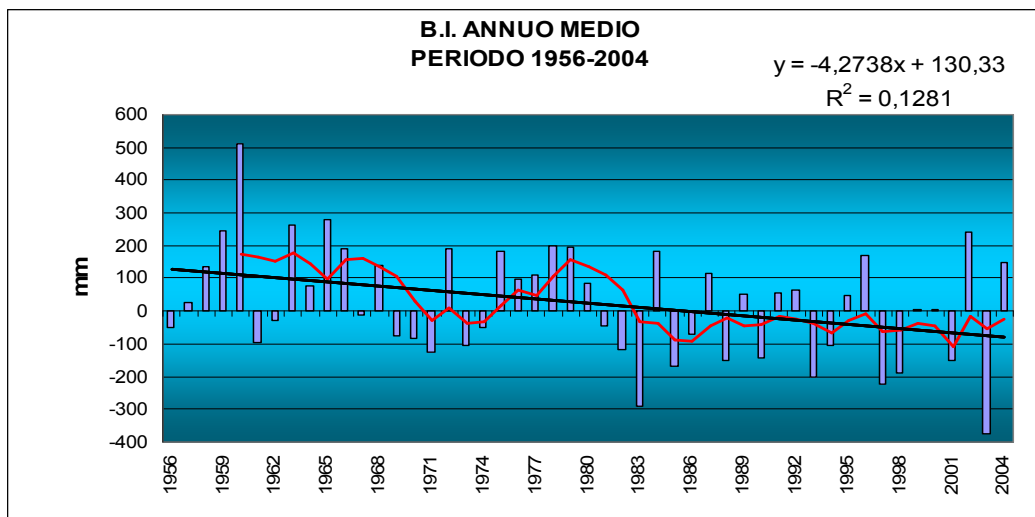


Figura 134: B.I. medio annuo. Periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point permette di evidenziare meglio il punto discontinuità del 1980 intorno al quale si sono verificati per queste nove stazioni il 90% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato il B.I. a diminuire da un valore medio di 92mm ad un valore medio pari a -48 mm per periodo 1981-2004.

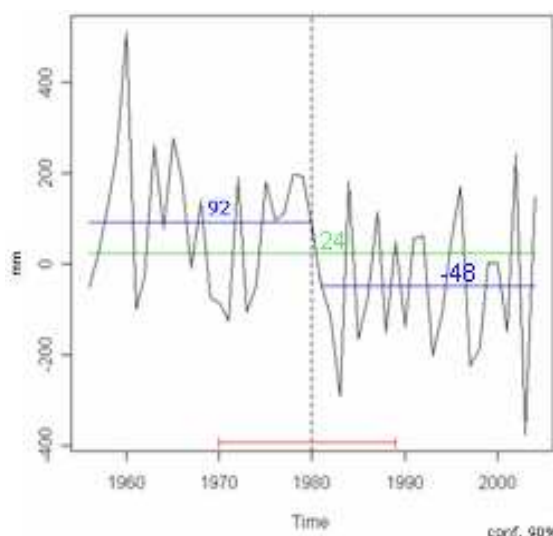


Figura 135: analisi di discontinuità B.I. medio annuo, periodo 1956-2004

Individuato il punto di discontinuità, è possibile descrivere a livello territoriale l'andamento del B.I. prima e dopo il 1980. Si nota come le isolinee localizzate sul Polesine “migrino” verso nord occupando la parte di pianura centrale. E' evidente la comparsa sul Polesine di una “nuova isolinea” con valore più negativo pari a -350mm.

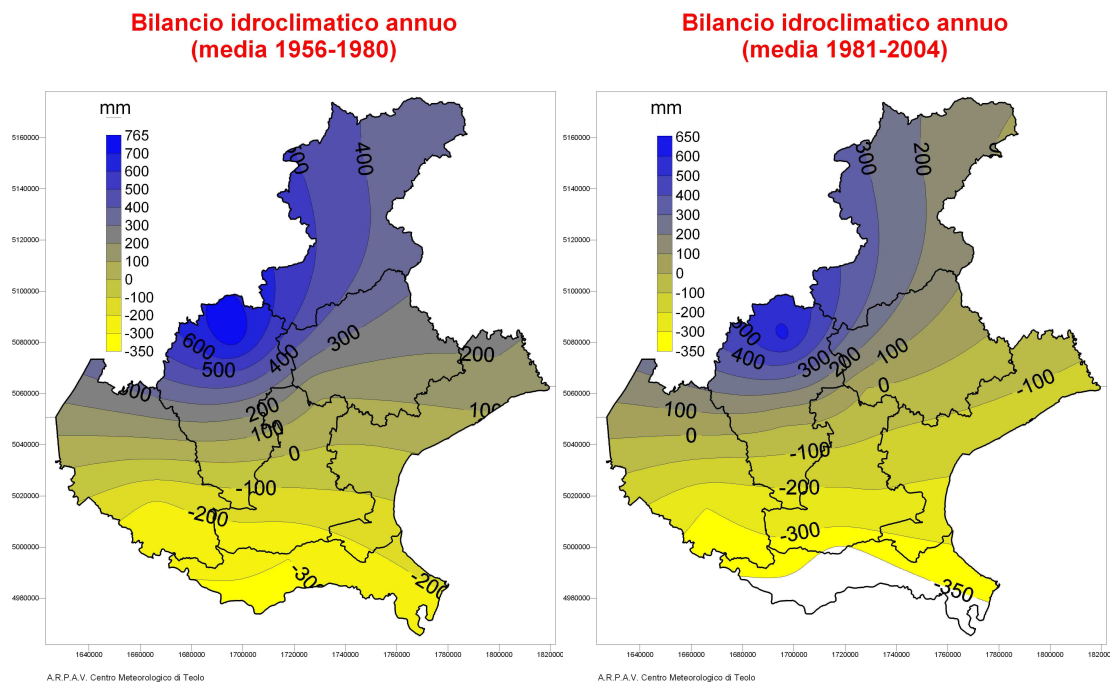


Figura 136: B.I. medio annuo prima e dopo il breakpoint del 1980

3.5.2. TREND STAGIONALI

Le stagioni con B.I. maggiore risultano essere naturalmente quelle autunno-invernali durante le quali, soprattutto in inverno, l'apporto delle precipitazioni è ovviamente decisivo, con valori di circa 110 mm; la stagione primaverile ha un B.I. leggermente negativo (-27.2 mm), mentre la stagione estiva presenta il valore di bilancio decisamente negativo (-181 mm)

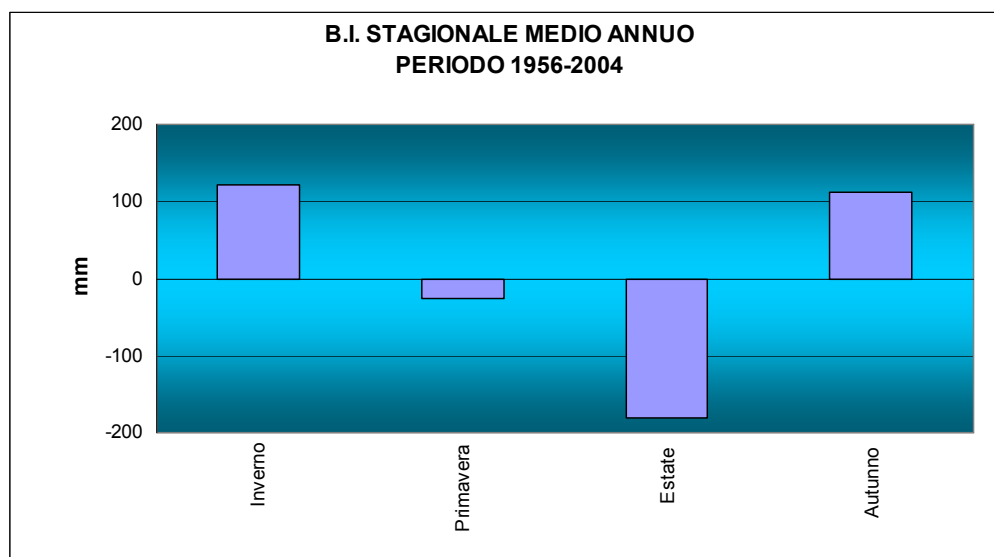


Figura 137: B.I. stagionale medio del periodo 1956-2004

L'andamento stagionale medio degli scarti per ciascuna stazione, ottenuto dalla differenza del B.I. prima e dopo il breakpoint del 1980, individua gli scarti più negativi in inverno (decisiva la diminuzione delle precipitazioni) ed in estate (aumento delle temperature e

diminuzione delle precipitazioni) con valori intorno ai -50 mm per stazione. In primavera si stima un valore medio negativo pari a -30 mm, mentre l'autunno presenta un B.I. solo leggermente negativo e vicino ai -10 mm, confermando di essere, nel periodo 56-2004 la stagione più “stabile” dal punto di vista idroclimatico.

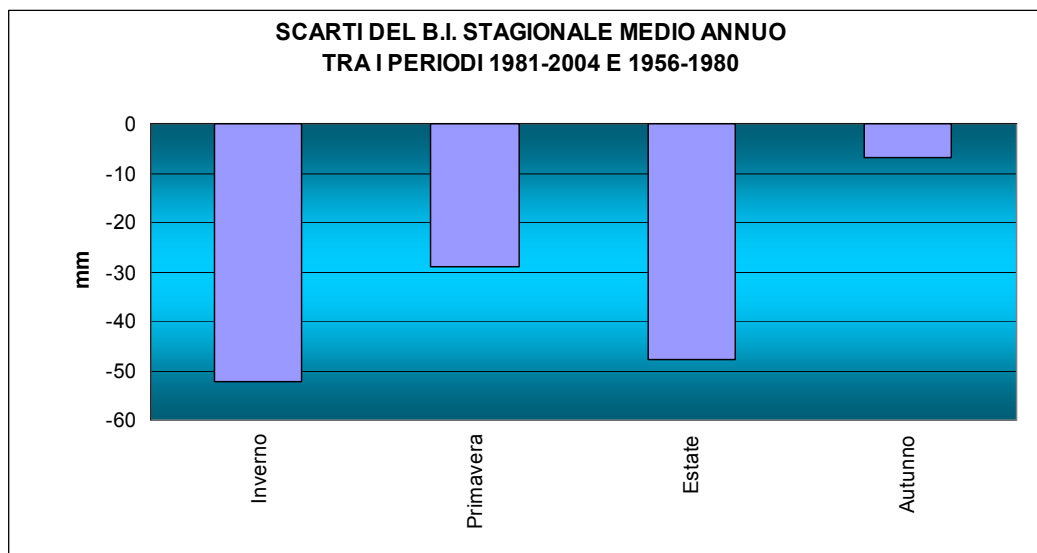


Figura 138: scarti B.I. stagionale medio tra i periodi 1956-1981 e 1982-2004

Primavera-Estate

Il trend del B.I. primaverile-estivo è in diminuzione con un trend significativo ($p < 0.05$) pari a circa -3,04 mm/anno, ovvero 304 mm/secolo, nell'ipotesi che tale andamento si ripresenti costantemente per 100 anni di seguito. E' evidente come fino alla diminuzione degli anni '90 i valori di B.I. primaverile-estivo siano stati caratterizzati da una alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Il B.I. medio primaverile-estivo varia da valori minimi vicini allo zero (1965, 1975, 1989, 1991) ai valori negativi massimi superiori ai compresi tra -300 e -400 mm che si concentrano dopo il 1991. L'anno con B.I. primaverile-estivo medio più negativo è il 2003 con più di -550 mm. Il valore medio della del B.I. stimata in queste 9 stazioni è pari a circa -208 mm.

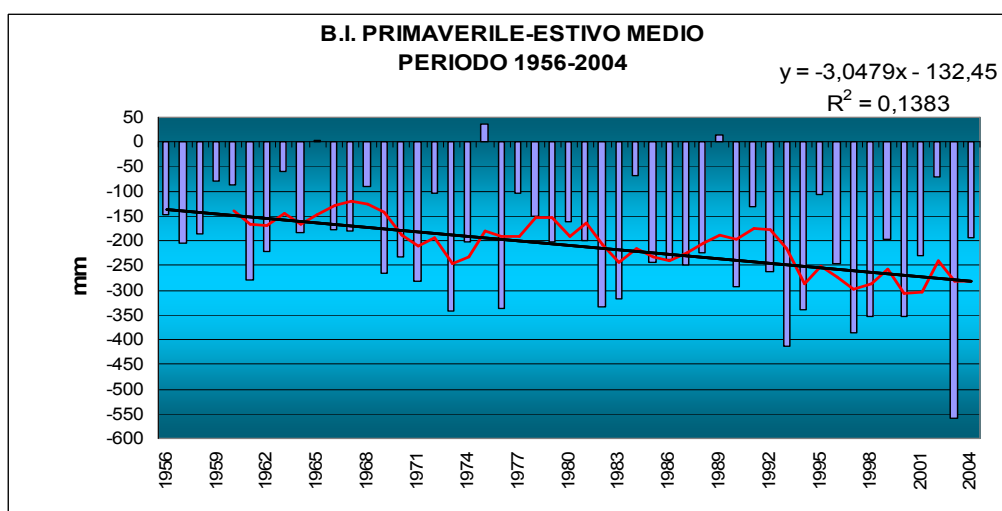


Figura 139: BI primaverile-estivo medio annuo del periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point permette di evidenziare meglio il punto discontinuità del 1991 intorno al quale si sono verificati per queste nove stazioni il 90% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato il B.I. a diminuire da un valore medio di -181 mm ad un valore medio pari a -285 mm nel periodo 1992-2004.

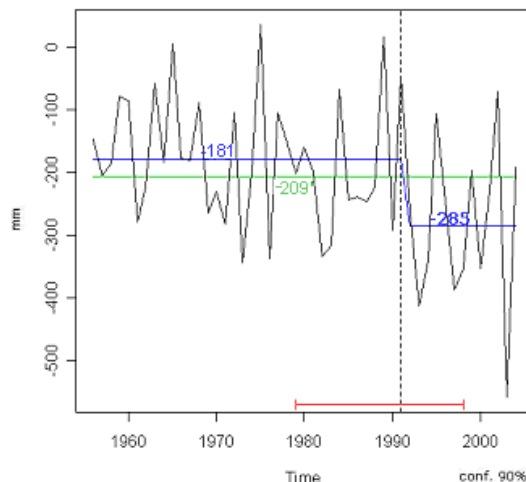


Figura 140: analisi di discontinuità del B.I. primaverile-estivo, periodo 1956-2004

Estate

Il trend della B.I. estivo è in diminuzione con un trend significativo ($p < 0.05$) pari a circa -1.6 mm/anno, ovvero -166mm /secolo, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. E' evidente come fino al 1997 i valori di B.I. estivo siano stati caratterizzati da un' alternanza di fasi di aumento e diminuzione, ben evidenziata dalla media mobile. Il B.I. medio estivo varia da valori minimi prossimi a 0mm (1968-1989) ai valori negativi massimi compresi tra i -200 e -300mm individuabili negli ultimi anni. E' evidente l'estate calda del 2003 con valori stimati quasi -400mm. Il valore medio del B.I. estivo stimato in queste 9 stazioni è pari a circa -181mm.

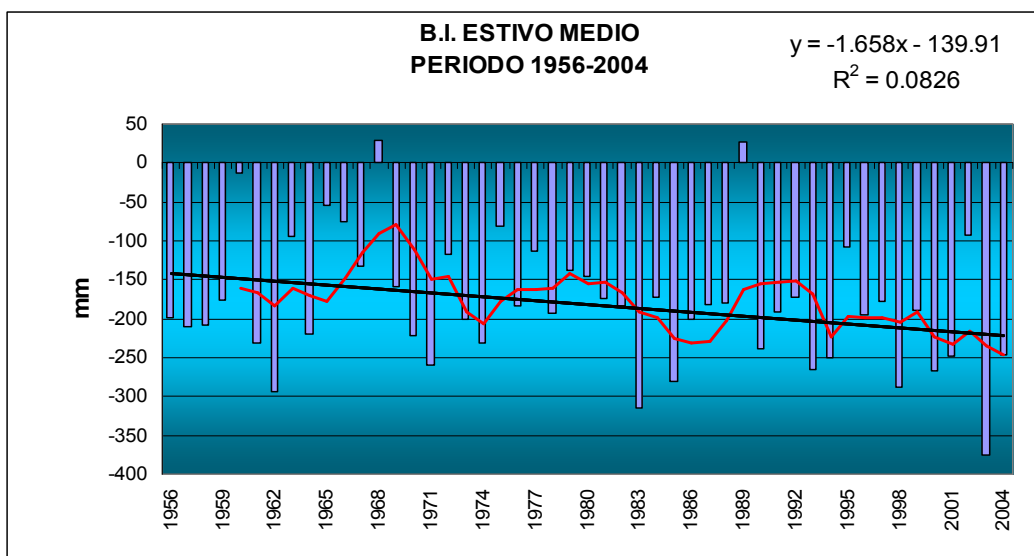


Figura 141: B.I. estivo medio annuo del periodo 1956-2004

Primavera

Il trend del B.I. primaverile è in aumento con un trend non significativo pari a circa -1.3 mm/anno, ovvero -130 mm /secolo, sempre che tale andamento si ripeta per 100 anni. Il B.I. medio primaverile varia da valori minimi prossimi compresi tra 0 e 100 mm, abbastanza distribuiti sull'intero periodo, ai valori negativi massimi compresi tra i -100 e -200mm. La primavera del 1997 ha il B.I. più negativo, di poco superiore a -200mm e supera il 2003 che non raggiunge i -200mm. Il valore medio del B.I. primaverile stimato in queste 9 stazioni è pari a circa -27mm.

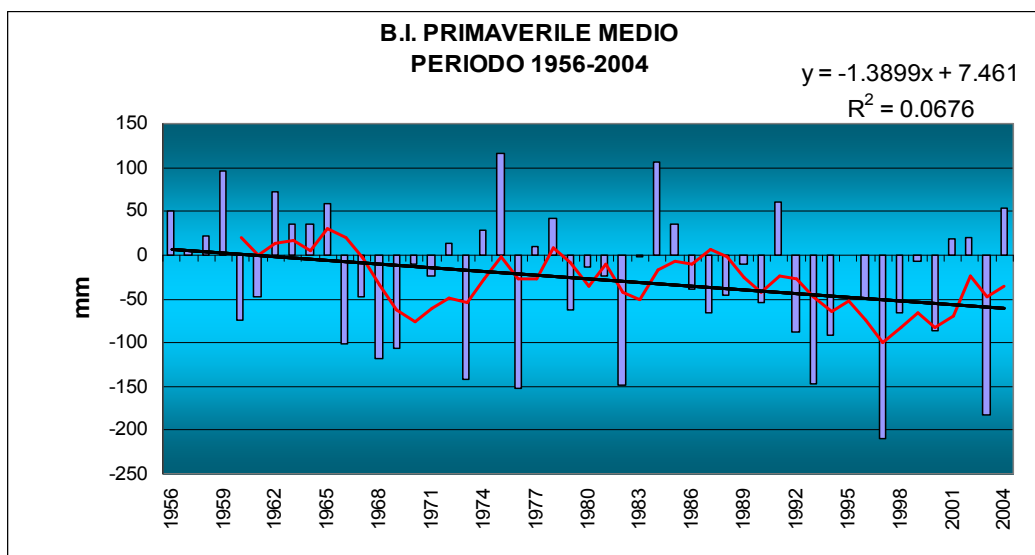


Figura 142: B.I. estivo medio annuo del periodo 1956-2004

Tabella 7: trend BI stagionali (mm/anno)

	ANNUO	PRIMAVERILE- ESTIVO	PRIMAVERILE	ESTIVO
<i>B.I.</i>	-4.2 *	-2.9 *	ns	-1.6 *

* = trend significativo a $p < 0.05$; ns = trend non significativo

3.5.3. B.I. mensile

Analizzando la distribuzione del B.I. mensile medio del periodo, si individua nel mese di luglio (161mm) il mese con B.I. più negativo seguito da agosto e giugno (148mm).

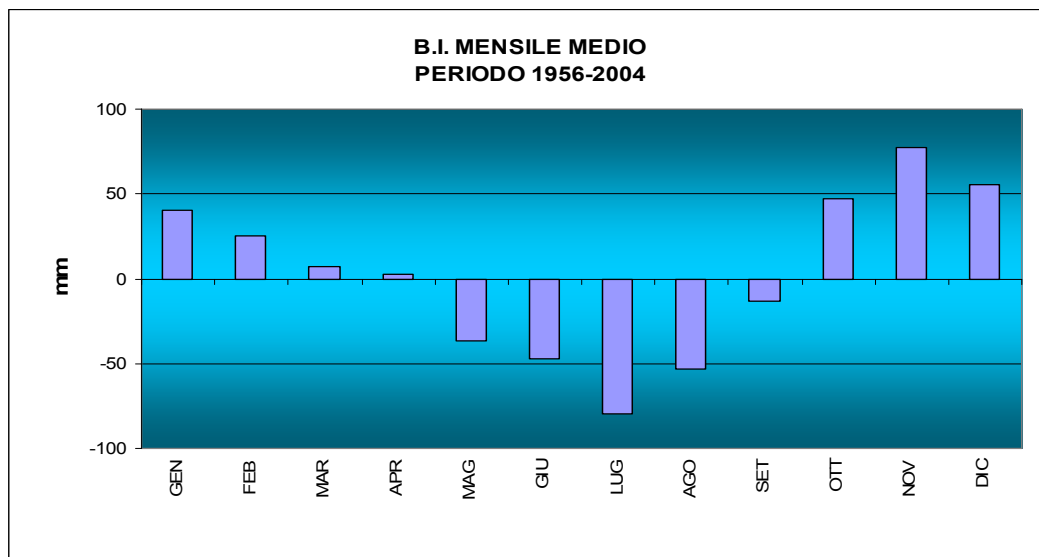


Figura 143: B.I. medio mensile del periodo 1956-2004

L'andamento mensile degli scarti del B.I. mette in evidenza come i mesi estivi siano quelli che hanno avuto dopo il 1980 i decrementi medi più sensibili. Si osserva inoltre come il mese di ottobre confermi anche gli andamenti mensili delle precipitazioni che determinano il segno positivo al B.I.

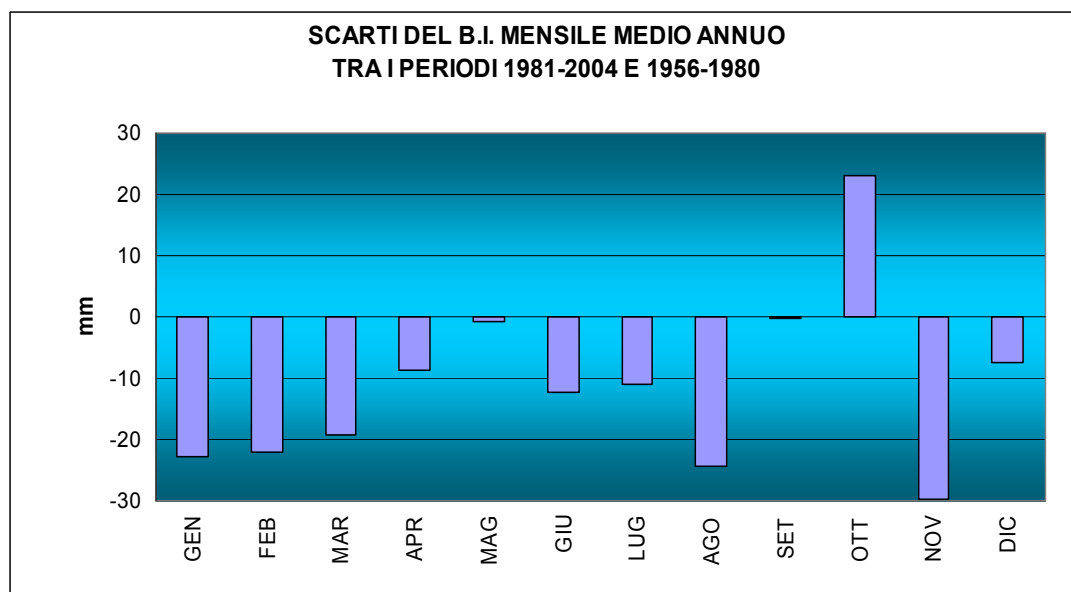


Figura 144: Scarti B.I. medio mensile tra i periodi 1956-1980 e 1981-2004

3.5.4. B.I. decennale

Il grafico delle medie decadali del BI mette in evidenza le decadi con BI medio più negativo di giugno, luglio e agosto. La terza decade di luglio risulta essere in assoluto quella con BI maggiormente negativo con -32 mm circa.

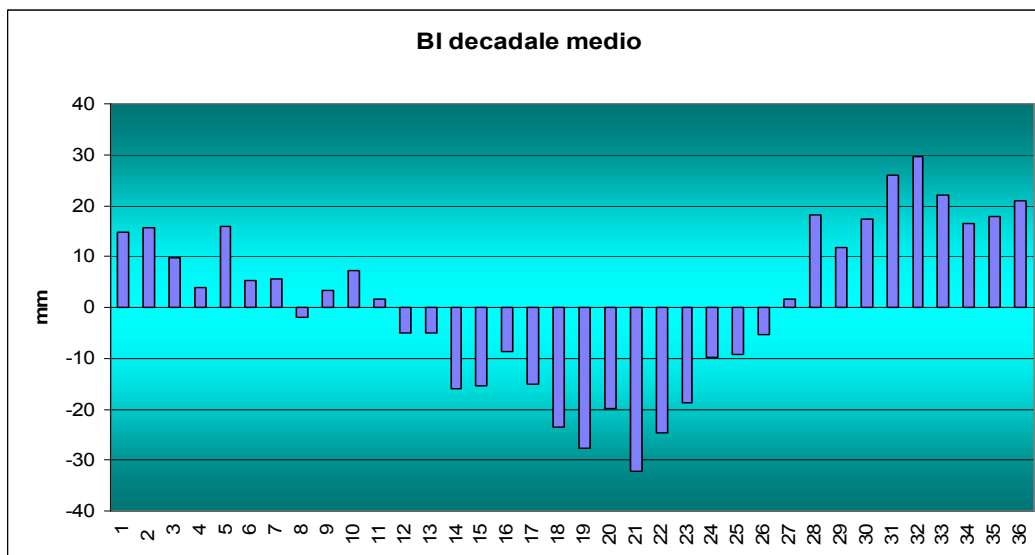


Figura 145: B.I. medio decennale per il periodo 1956-2004

La distribuzione degli scarti evapotraspirativi decadali medi annui prima e dopo il 1980 mettono in evidenza come la prima decade di ottobre presenti l'incremento di BI maggiore (17mm). La seconda decade di agosto e novembre presenta la diminuzione di BI maggiore di a circa -20 mm.

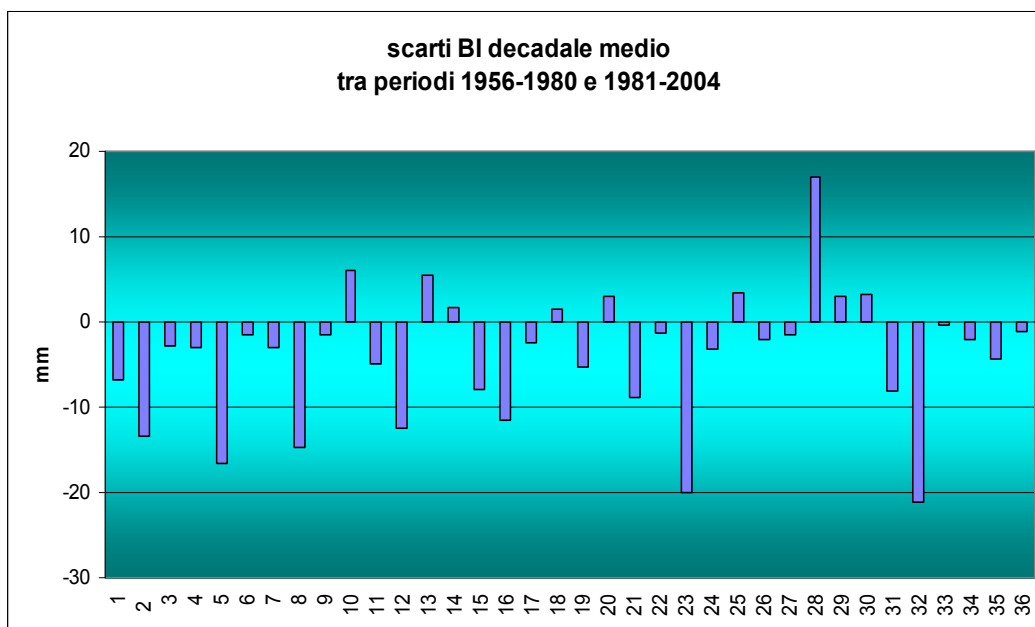


Figura 146: scarti B.I. medio decennale prima e dopo il 1980

3.5.5. B.I. giornaliero

Sempre a titolo di curiosità, nei 49 anni considerati, i giorni mediamente con B.I. più negativi si ripetono spesso a luglio ed all'inizio di agosto con valori compresi tra i -3.5 e -4 mm.

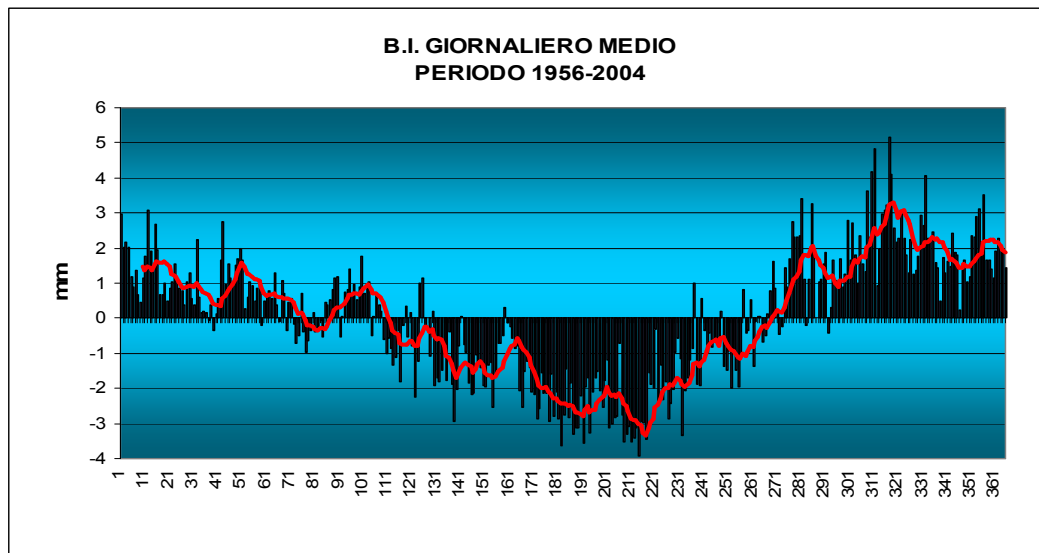


Figura 147: B.I. medio giornaliero del periodo 1956-2004

Gli scarti, ottenuti dalla differenza dei valori minimi medi giornalieri per stazione, pre e post 1980, ribadiscono come il loro segno sia in genere negativo, come meglio mostra la media decadale in rosso.

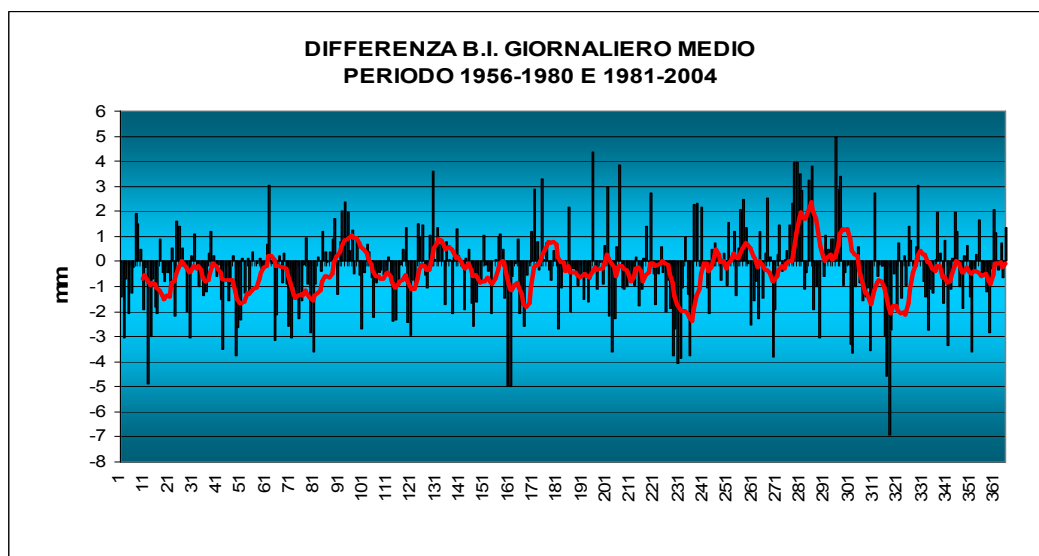


Figura 148: scarti B.I. medio giornaliero prima e dopo il 1980

Il B.I. giornaliero medio annuale è significativamente in diminuzione ($p < 0.5$) con un trend lineare pari a circa -1.1mm/giorno ogni 100 anni. Il B.I. medio annuale è pari a circa 0.06mm.

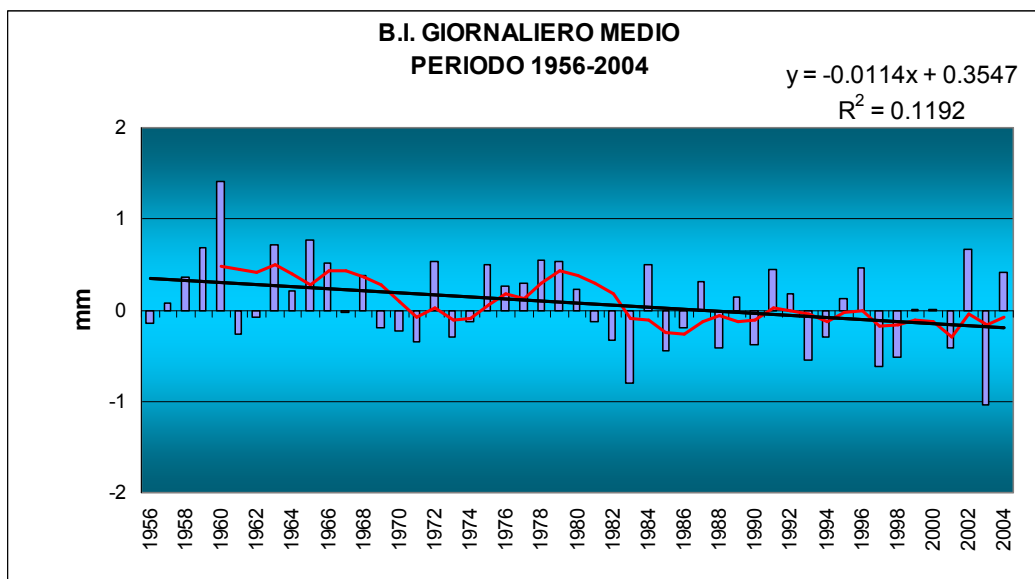


Figura 149: B.I. giornaliero annuale medio, periodo 1956-2004

Il B.I. medio primaverile-estivo è pari a circa -1.1 mm. Il B.I. giornaliero medio di questo semestre è significativamente in diminuzione ($p < 0.5$) con un trend lineare pari a circa -1.6 mm/giorno ogni 100 anni.

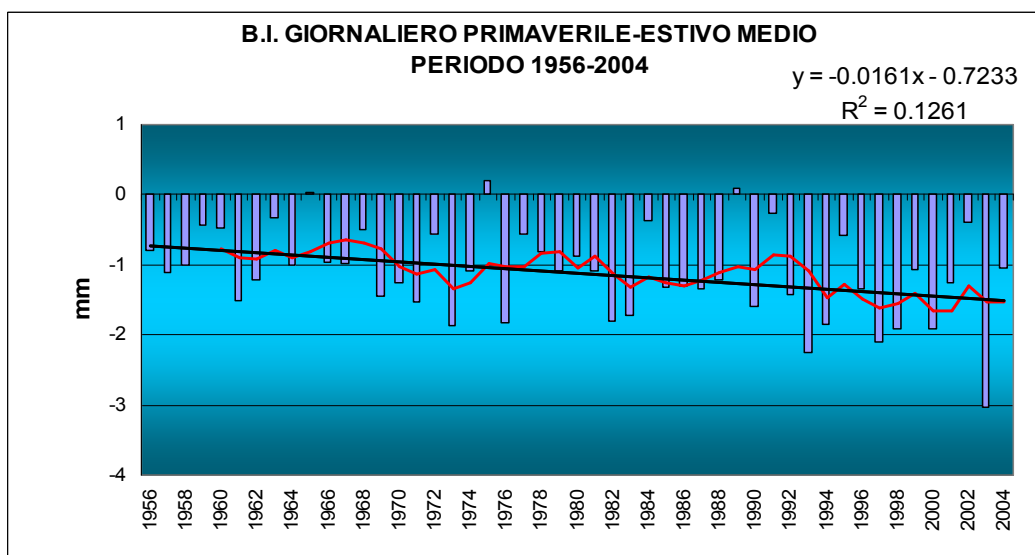


Figura 150: B.I. giornaliero primaverile-estivo medio, periodo 1956-2004

Il B.I. medio estivo è pari a circa -2 mm. Il B.I. giornaliero medio di questa stagione significativamente in diminuzione ($p < 0.5$) con un trend lineare pari a circa -1.7 mm/giorno ogni 100 anni.

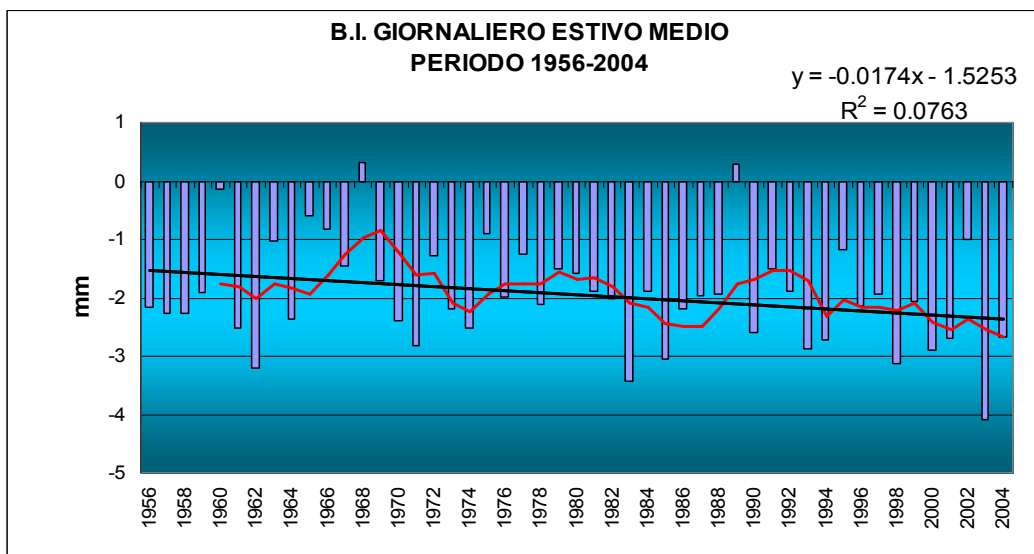


Figura 151: B.I. giornaliero estivo medio, periodo 1956-2004

Il breakpoint del B.I. giornaliero estiva è individuato nel 1989. I valori pre e post punto di discontinuità sono rispettivamente -1.8 e -2.6 mm.

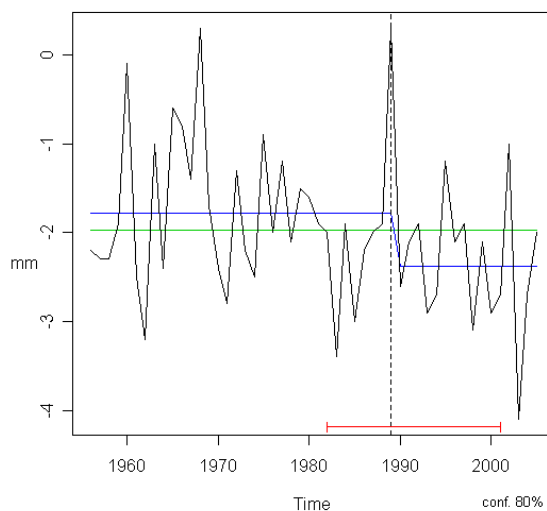


Figura 152: analisi di discontinuità del Bilancio Idroclimatico giornaliero estivo, periodo 1956-2004

3.6. CONFRONTO DI TREND IN EMILIA ROMAGNA E VENETO

Altri dati utili per fare dei confronti con i dati storici della Regione Veneto sono i dati di precipitazione (circa 80 stazioni), temperature massime e minime (circa 50 stazioni) della Regione Emilia Romagna (fonte: Cacciamani 2007, comunicazione personale) per il periodo 1960-2004.

3.6.1. Precipitazioni

Come mette bene in evidenza il grafico, già visivamente si nota la correlazione tra le piovosità di due regioni confinanti come l'Emilia Romagna ed il Veneto. Correlazione che oltre ad essere elevata ($R=0.70$), è molto significativa.

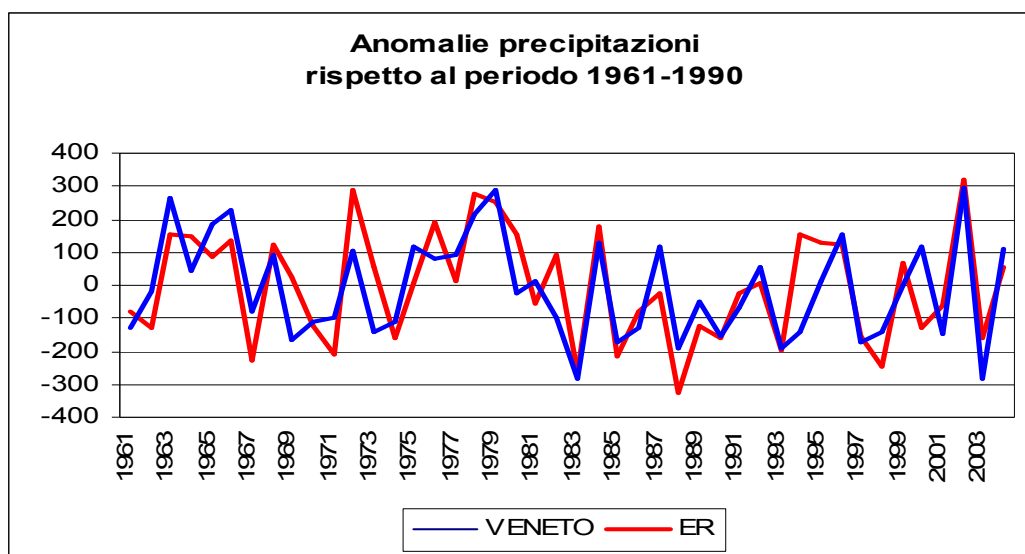


Figura 153: anomalie delle precipitazioni in Veneto ed Emilia Romagna per il periodo 1961-2003, rispetto al trentennio 1961-1990: $R = 0.70$, $p < 0.01$

E' quindi consequenziale identificare break-points delle precipitazioni medie annue del periodo 1960-2004, molto vicini per le due regioni rispettivamente nel 1981 in Veneto, e nel 1978 in Emilia Romagna.

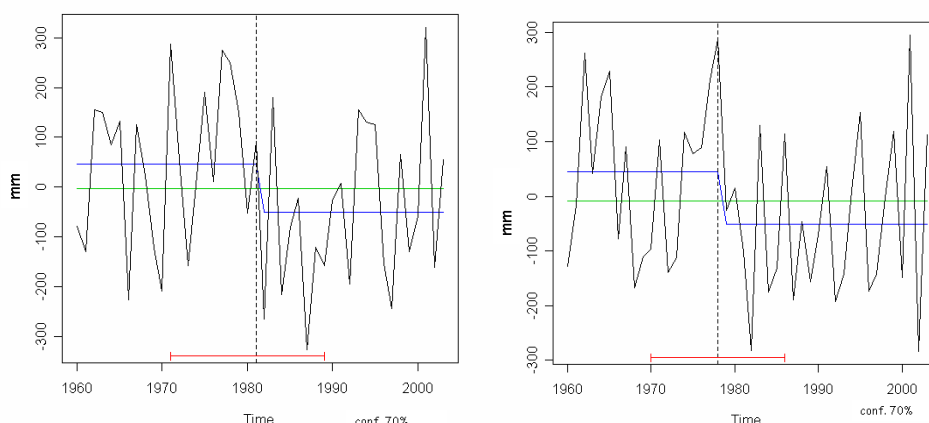


Figura 154: anomalia scarti precipitazioni rispetto al trentennio 60-90, Emilia Romagna e Veneto, periodo 1960-2004, anno più probabile di discontinuità= 1981, 1978 al 70% di probabilità la discontinuità ricade fra 1971-1989, 1870-1986
fonte dati: Cacciamani (ARPA ER 2007), elaborazione Chiaudani

3.6.2. Temperature massime

Nel grafico si nota la correlazione tra le temperature massime di due regioni confinanti come l'Emilia Romagna ed il Veneto. Correlazione che oltre ad essere elevata è altamente significativa ($R=0.93$; $p<0.01$). Anche i trend riportati nella tabella confermano la similitudine degli aumenti medi annui di tmax verificatisi durante il periodo 1960-2004.

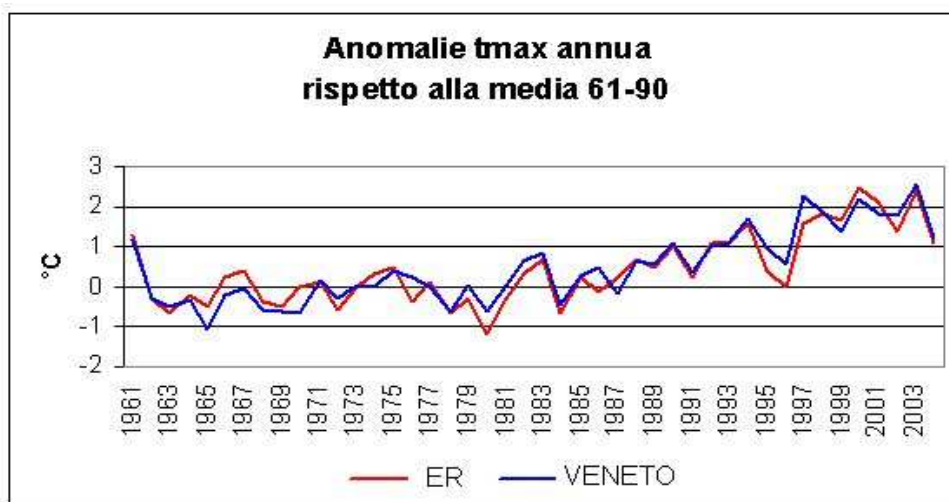


Figura 155: anomalie delle tmax in Veneto ed Emilia Romagna per il periodo 1961-2003, rispetto al trentennio 1961-1990. $R=0.93$, $p<0.01$

Tabella 7: trend temp. massime stagionali in Veneto ed ER, periodo 1961-2004 ($^{\circ}\text{C}/\text{anno}$)

	ANNUO	INVERNALE	PRIMAVERILE	ESTIVO	AUTUNNALE
<i>Temp.Max. Veneto 1961-2004</i>	0.056 **	0.060 **	0.054 **	0.068 **	0.033 **
<i>Temp.Max. E.R. 1961-2004</i>	0.048 **	0.047 **	0.044 **	0.070 **	0.019 **

** = trend significativo a $p<0.01$

I break-points delle due regioni per quanto riguarda le temperature massime medie annue del periodo 19960-2004 sono coincidenti e cadono nel 1990.

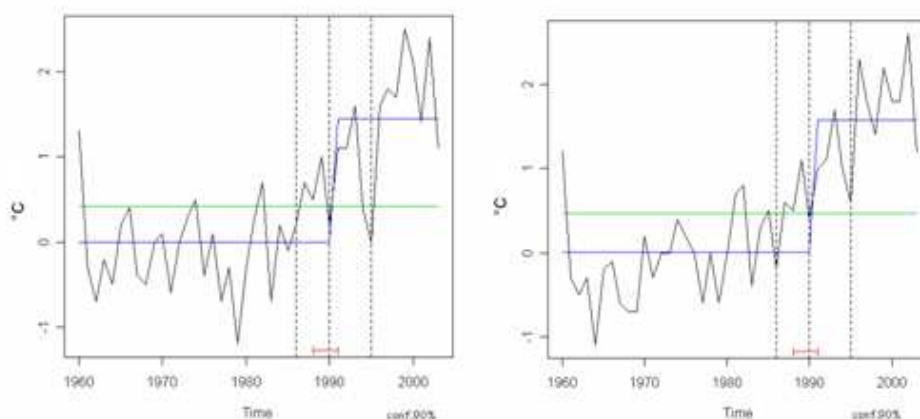


Figura 156: anomalia scarti temperatura massima rispetto al trentennio 60-90, Emilia Romagna e Veneto, periodo 1960-2004 anno più probabile di discontinuità= 1990
al 90% di probabilità la discontinuità ricade fra 1988 e 1991
fonte dati: Cacciamani (ARPA ER 2007) elaborazione Chiaudani

3.6.3. Temperature minime

Nell grafico, si nota la correlazione tra le temperature minime di due regioni confinanti come l'Emilia Romagna ed il Veneto. Correlazione che, oltre ad essere elevata ($R=0.90$), è molto significativa. Anche i trend riportati nella tabella confermano la similitudine degli aumenti medi annui di temperatura minima verificatisi durante il periodo 1960-2004.

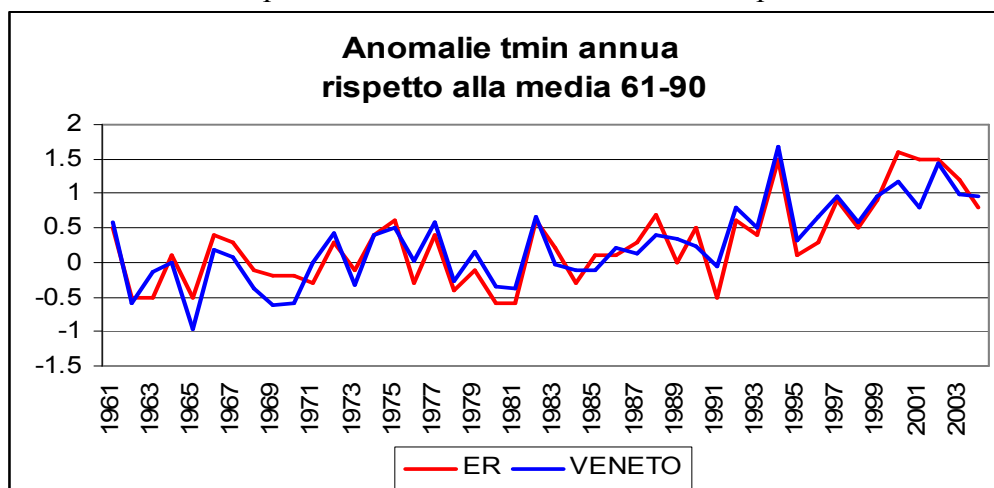


Figura 157: anomalie delle tin in Veneto ed Emilia Romagna per il periodo 1961-2003, rispetto al trentennio 1961-1990. $R=0.90$, $p<0.01$

Tabella 8: trend temp. minime stagionali in Veneto ed ER, periodo 1961-2004 ($^{\circ}\text{C}/\text{anno}$)

	ANNUO	INVERNALE	PRIMAVERILE	ESTIVO	AUTUNNALE
<i>Temp.min Veneto 1961-2004</i>	0.049 **	ns	0.025 **	0.042 **	0.028 *
<i>Temp.Min. E.R. 1961-2004</i>	0.040 **	0.028 *	0.023 *	0.044 **	0.020 *

** = trend significativo a $p<0.01$; * = trend significativo a $p<0.05$; ns = trend non significativo

Anche i break-points delle due regioni per quanto riguarda le temperature minime medie annue del periodo 1960-2004 sono coincidenti e cadono nel 1990.

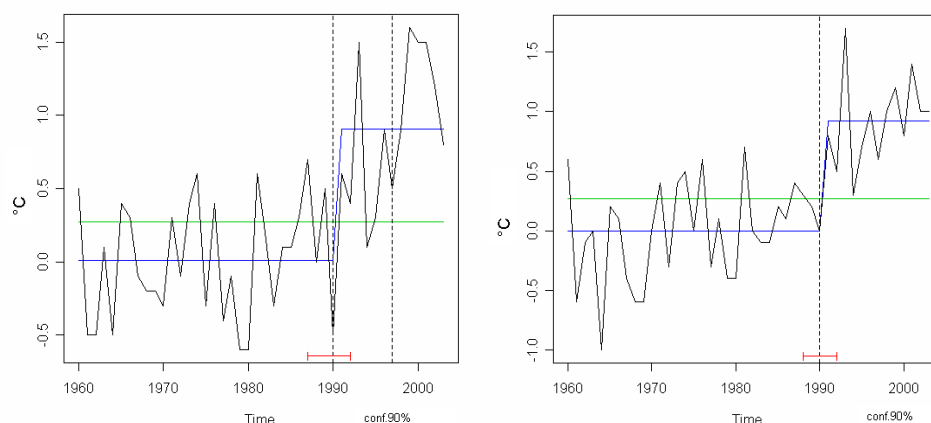
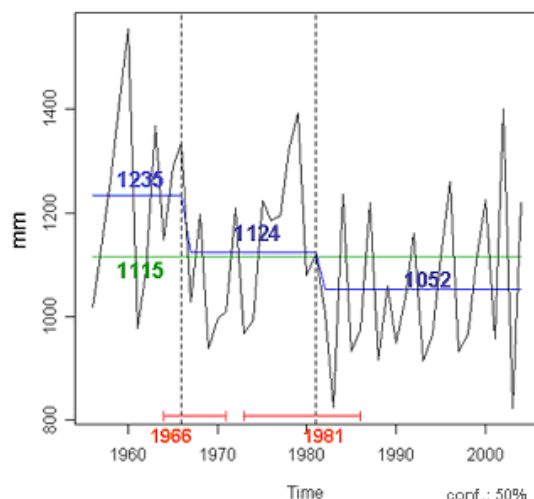


Figura 158: anomalia scarti temperatura minime rispetto al trentennio 60-90, Emilia Romagna e Veneto, periodo 1960-2004 anno più probabile di discontinuità= 1990 al 90% di probabilità la discontinuità ricade fra 1987/1988 e 1992
fonte dati: Cacciamani (ARPA ER 2007) elaborazione Chiaudani

3.7. UN'APPLICAZIONE DI CLIMATOLOGIA DINAMICA STORICA IN VENETO

Può essere interessante analizzare in modo molto semplice, ma illuminante, il rapporto tra gli andamenti di precipitazione in Veneto e la pressione media annua monitorata nello stesso periodo sul Mediterraneo.

Come detto in precedenza analizzando l'andamento discontinuo delle precipitazioni medie annue è possibile individuare due break-points e tre sottoperiodi con tre valori medi di precipitazione rispettivamente di 1235, 1124 e 1052 mm.

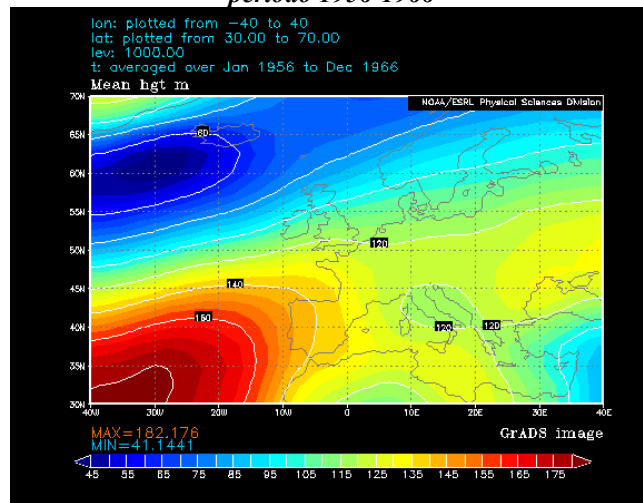


Allo stesso modo possiamo descrivere la circolazione atmosferica prevalente dei tre sottoperiodi individuati mediante misurazione dell'altezza dal suolo alla quale si realizza la pressione di 1000 hPa (Fonte: NOAA www.cdc.noaa.gov).

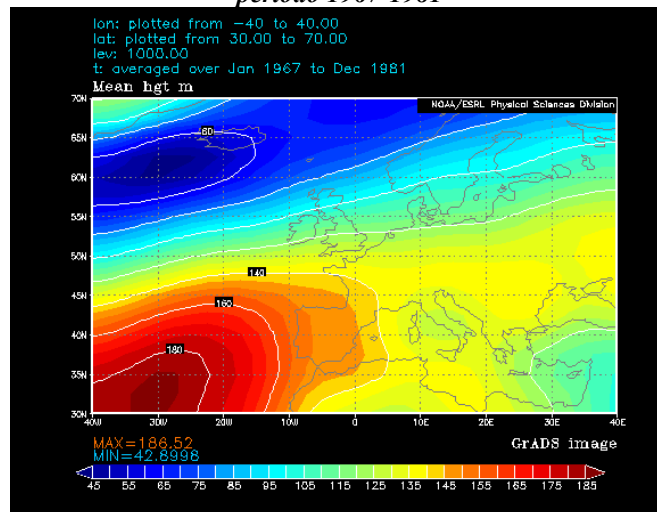
Le aree in rosso sono interpretabili come aree di alta pressione al suolo e quelle in blu come quelle di bassa pressione.

Come possiamo vedere dalle figure, nei sottoperiodi delimitati dai punti di discontinuità della precipitazione media annua in costante decremento, si coglie l'espansione di un promontorio anticiclonico subtropicale da sudovest verso la nostra area, che permette di spiegare la graduale contrazione delle precipitazioni.

periodo 1956-1966



periodo 1967-1981



periodo 1982-2004

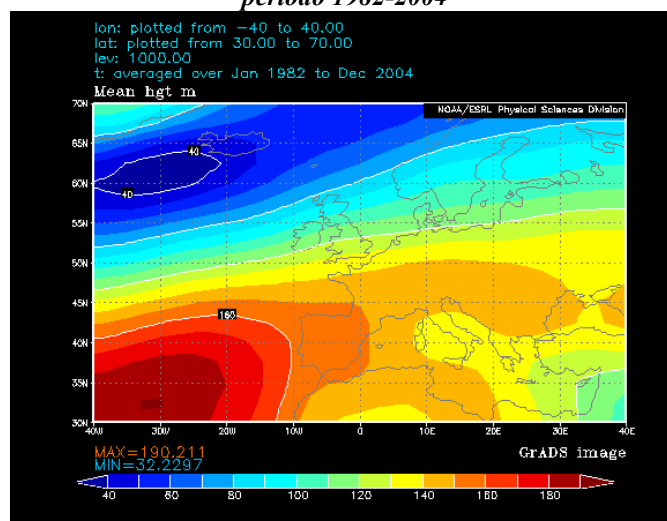


Figura 159: espansione media della pressione di 1000hpa nel periodo 1956-2004 Fonte: NOAA

3.8. PATTERN TELECONNETTIVI STAGIONALI E CLIMA VENETO

3.8.1. NAO

Precipitazioni

La correlazione negativa significativa che viene evidenziata tra il NAO e le precipitazioni è quella relativa solo al mese invernale. Dal grafico si nota che a una prima fase dove precipitazioni e NAO index sono paralleli segue una fase “speculare”, dove appunto all’aumentare del NAO diminuiscono le precipitazioni. Come già detto in precedenza il segno positivo di tale indice evidenzia condizioni di minore piovosità sul Mediterraneo.

Tabella 9: correlazioni stagionali tra l’indice NAO e le prec. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE NAO-PREC 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	-0.21	-0.17	0.01	-0.16	-0.5
P	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0.01.

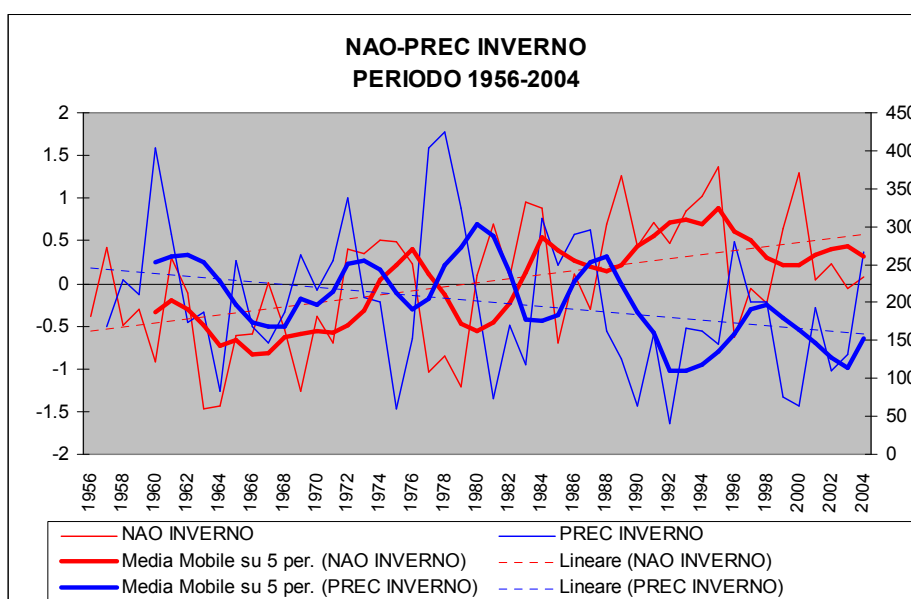


Figura 160: andamenti indice NAO e precipitazioni invernali. Periodo 1956-2004

Come già descritto nel capitolo relativo alle discontinuità, il NAO invernale presenta nel 1987 un Break-point nel quale l’indice diventa fortemente positivo, indicatore di quel cambiamento di fase climatica citata da Werner et al. (2000) che avrebbe determinato diminuzione di precipitazioni invernali ed aumenti delle temperature nella stessa stagione. L’analisi di discontinuità mette in evidenza come alla fase fortemente positiva del NAO corrisponde, l’instaurarsi di una fase con precipitazioni medie invernali minori in Veneto dal 1987. La confidenza tra il 1982 ed il 1999 è pari al 90% .

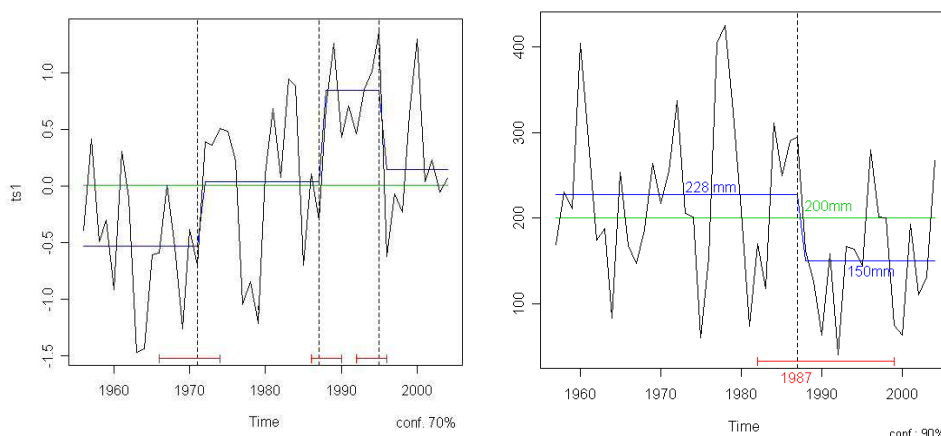


Figura 161: individuazione di un punto di discontinuità per il NAO e le precipitazioni, invernali. Periodo 1956-2004

Temperature massime

La correlazione positiva significativa che viene evidenziata tra il NAO index e le temperature massime è quella relativa solo al mese invernale. Dal grafico si nota che a una prima lunga fase dove temperature massime invernali e NAO index sono paralleli segue una breve fase leggermente “speculare” di correlazione negativa.. Come già detto in precedenza il segno positivo di tale indice evidenzia condizioni più miti ed asciutte sul Mediterraneo.

Tabella 10: correlazioni stagionali tra l'indice NAO e le tmax. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE NAO-TMAX 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.29	0.224	-0.012	-0.0073	0.57
p	<0.05	n.s	n.s.	n.s.	<0.01

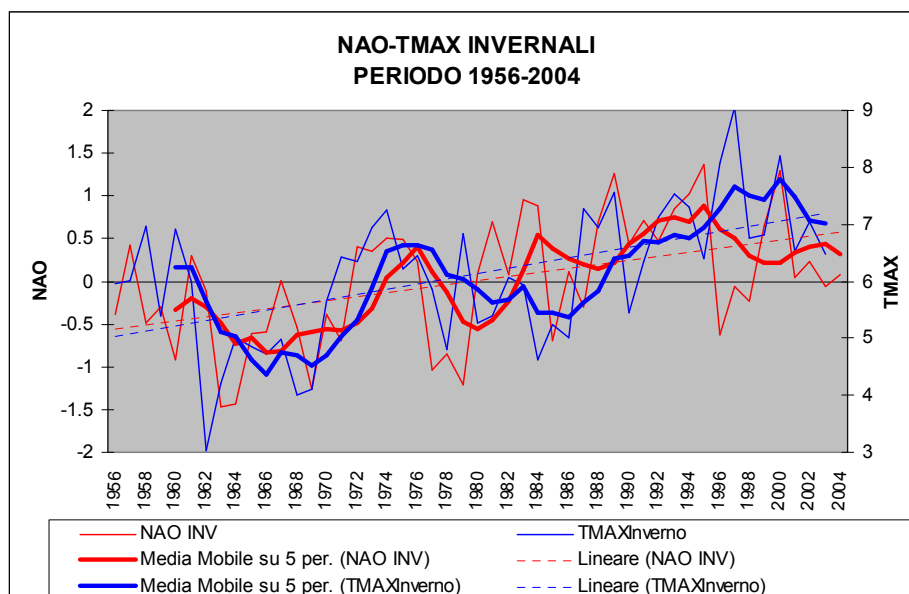


Figura 162: andamenti indice NAO e tmax invernali. Periodo 1956-2004

Come per le precipitazioni individuo in corrispondenza del cambio il breakpoint delle temperature massime invernali è individuabile nel 1986, con una confidenza tra il 1984 ed il 1990 pari al 90%.

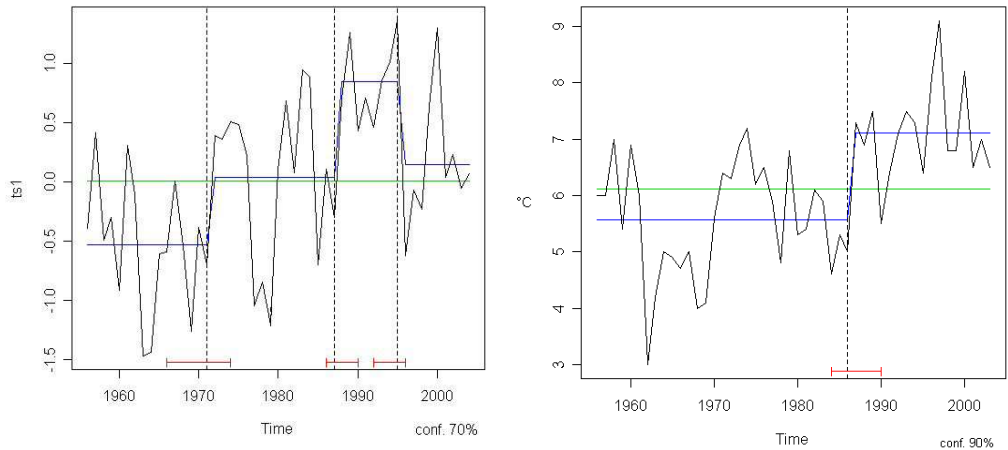


Figura 163: individuazione di un punto di discontinuità per il NAO e le tmax, invernali. Periodo 1956-2004

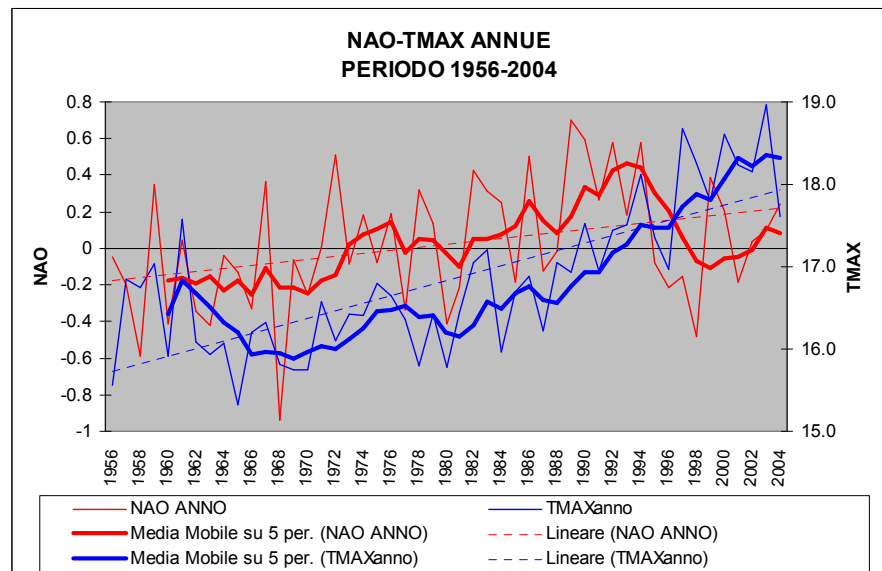


Figura 164: andamenti indice NAO e tmax annue. Periodo 1956-2004

Temperature minime

La correlazione positiva significativa che viene evidenziata tra il NAO e le temperature minime è quella relativa all'anno.

Tabella 11: correlazioni stagionali tra l'indice NAO e le tmin. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE NAO-TMIN 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.33	0.24	0.10	-0.13	0.12
p	<0.05	n.s	n.s.	n.s.	n.s.

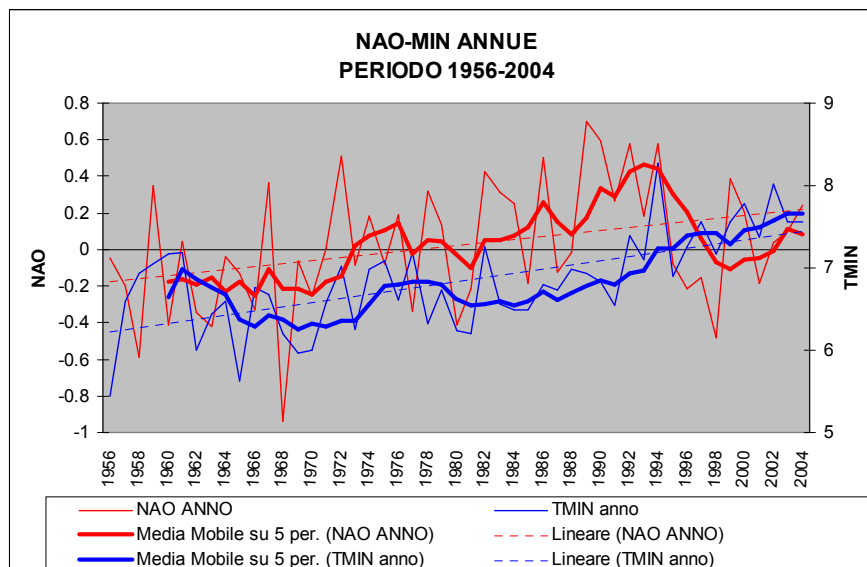


Figura 165: andamenti indice NAO e tmin annue. Periodo 1956-2004

3.8.2. EA

Precipitazioni

L'indice EA non si correla significativamente con le precipitazioni.

Temperatura massima

La correlazione positiva significativa che viene evidenziata tra l'EA e le temperature massime è relativa a tutti i mesi, soprattutto in inverno ed estate.

Tabella 13: correlazioni stagionali tra l'indice EA e le tmax. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE EA-TMAX 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.62	0.41	0.45	0.40	0.44
p	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

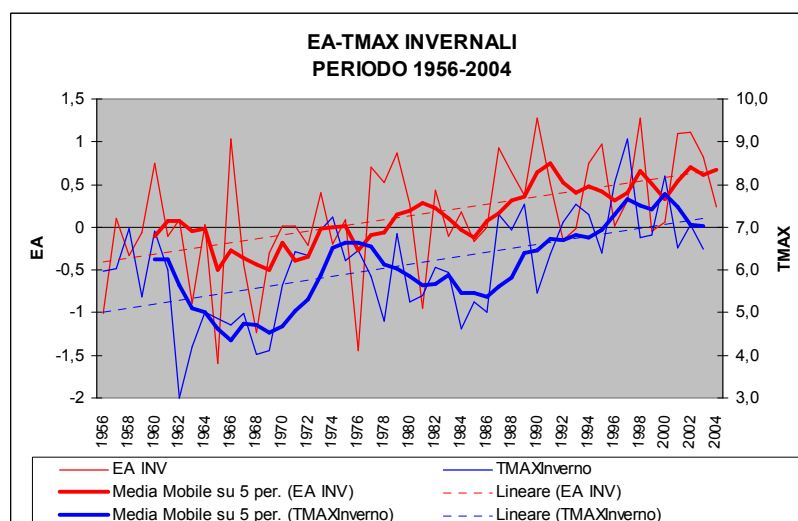


Figura 166: andamenti indice EA e tmax invernali. Periodo 1956-2004

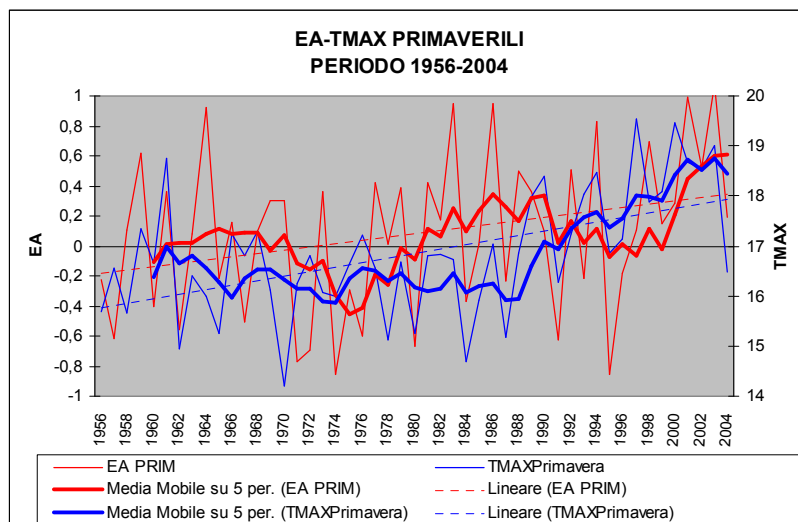


Figura 167: andamenti indice EA e tmax primaverili. Periodo 1956-2004

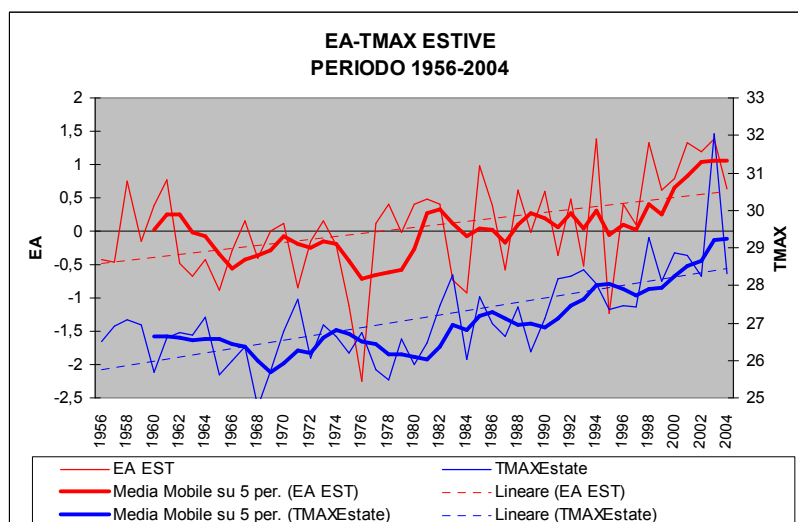


Figura 168: andamenti indice EA e tmax estive. Periodo 1956-2004

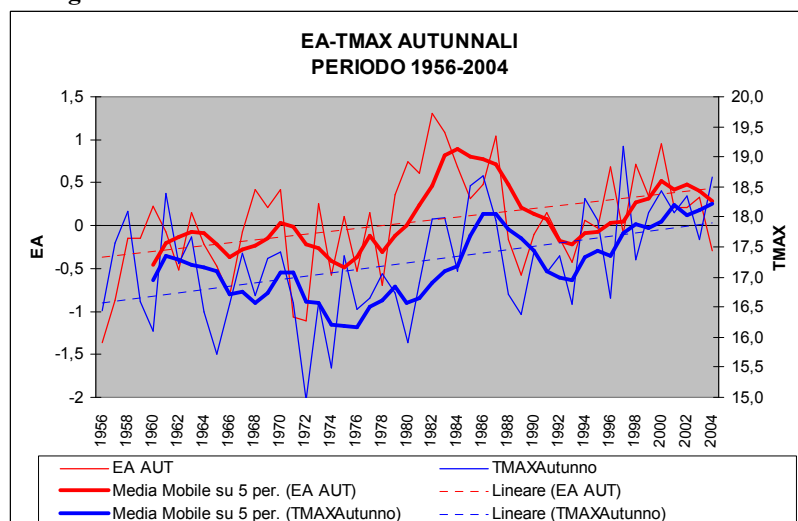


Figura 169: andamenti indice EA e tmax autunnali. Periodo 1956-2004

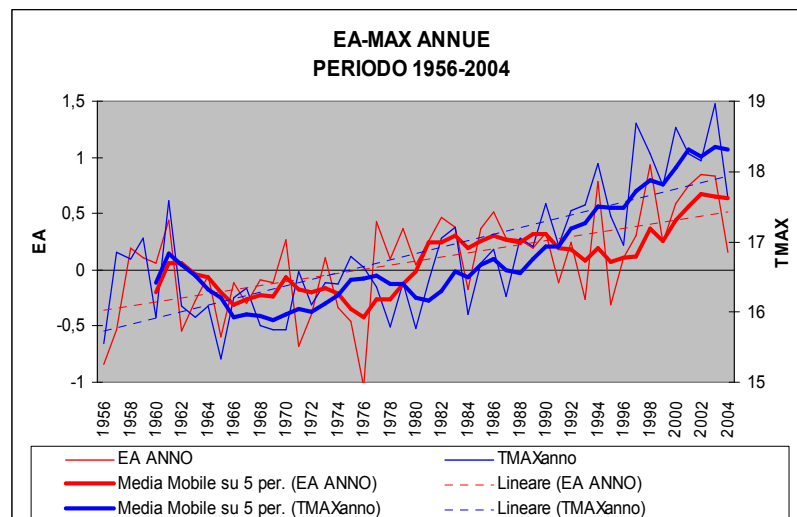


Figura 170: andamenti indice EA e tmax annue. Periodo 1956-2004

I breakpoint dell'EA annuale sono individuabili nel 1976, con una confidenza pari al 90%. Di fianco il punto discontinuità delle temperature massime annuali, individuabile nel 1989 con una confidenza pari al 90%

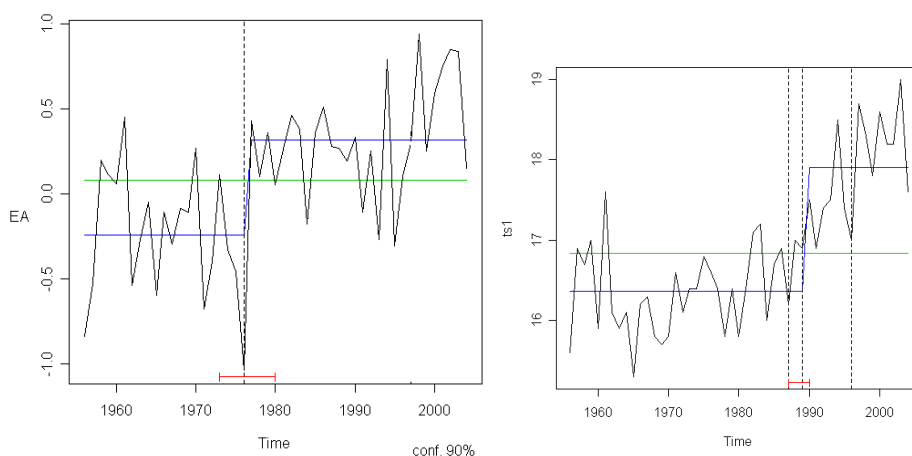


Figura 171: individuazione di un punto di discontinuità per l'EA e le tmax , annuali. Periodo 1956-2004

Temperatura minima

La correlazione positiva altamente significativa che viene evidenziata tra l'EA e le temperature minime è relativa a tutti i mesi, soprattutto in estate.

Tabella 14: correlazioni stagionali tra l'indice EA e le tmin. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE EA-TMIN 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.60	0.41	0.47	0.41	0.37
p	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

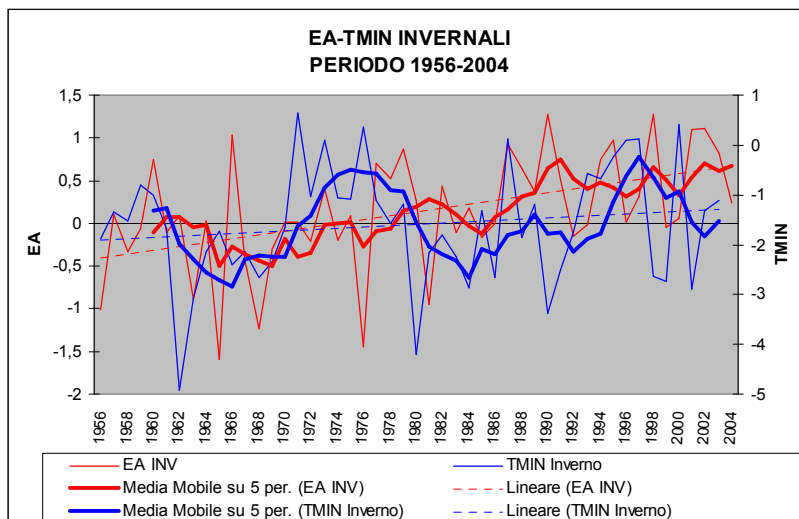


Figura 172: andamenti indice EA e tmin invernali. Periodo 1956-2004

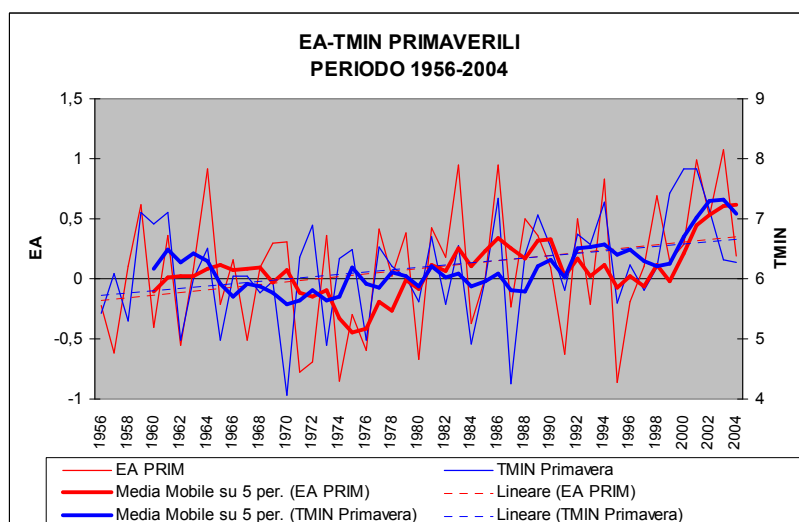


Figura 173: andamenti indice EA e tmin primaverili. Periodo 1956-2004

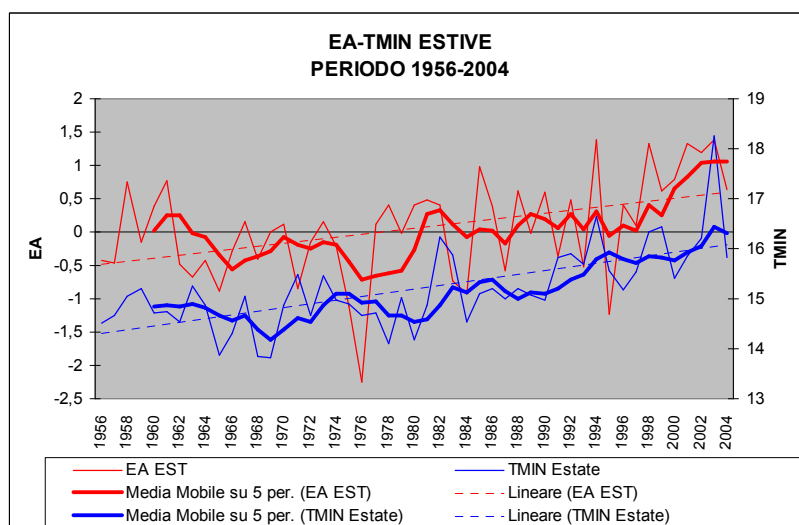


Figura 174: andamenti indice EA e tmin estive. Periodo 1956-2004

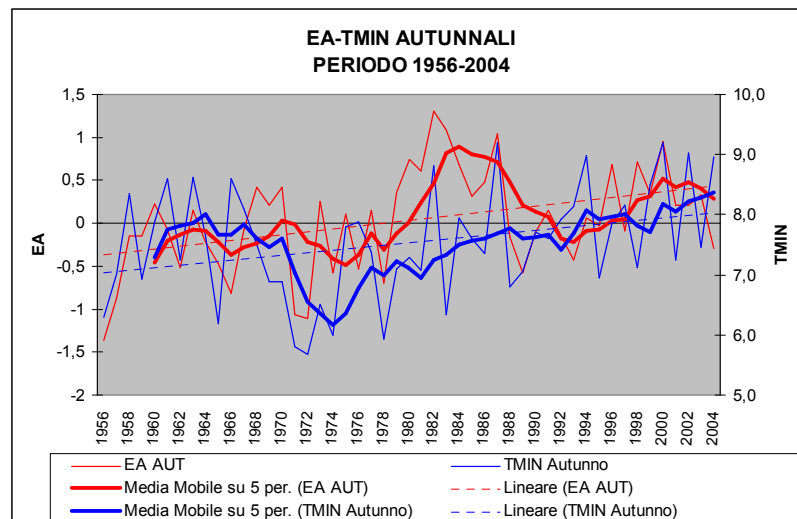


Figura 175: andamenti indice EA e tmin autunnali. Periodo 1956-2004

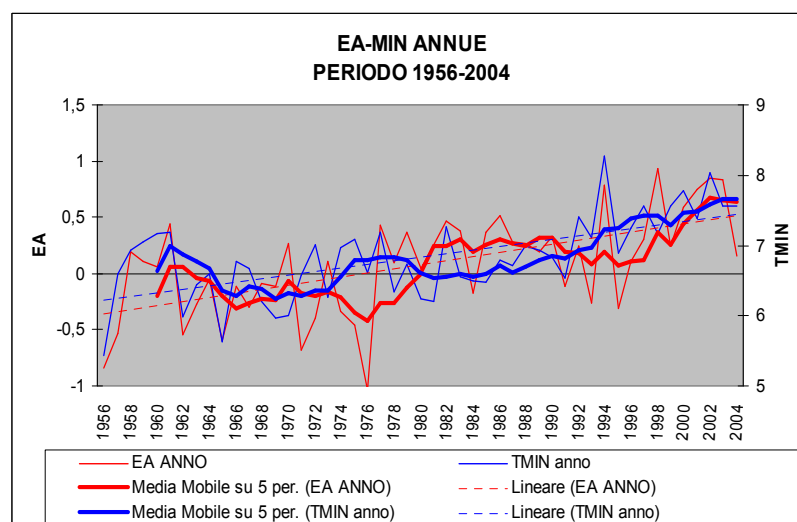


Figura 176: andamenti indice EA e tmin annue. Periodo 1956-2004

I breakpoint dell'EA annuale sono individuabili nel 1976 e 1997, con una confidenza pari al 90%. Di fianco i punti discontinuità delle temperature minime annuali, individuabili nel 1971 e 1991, con una confidenza pari al 60%

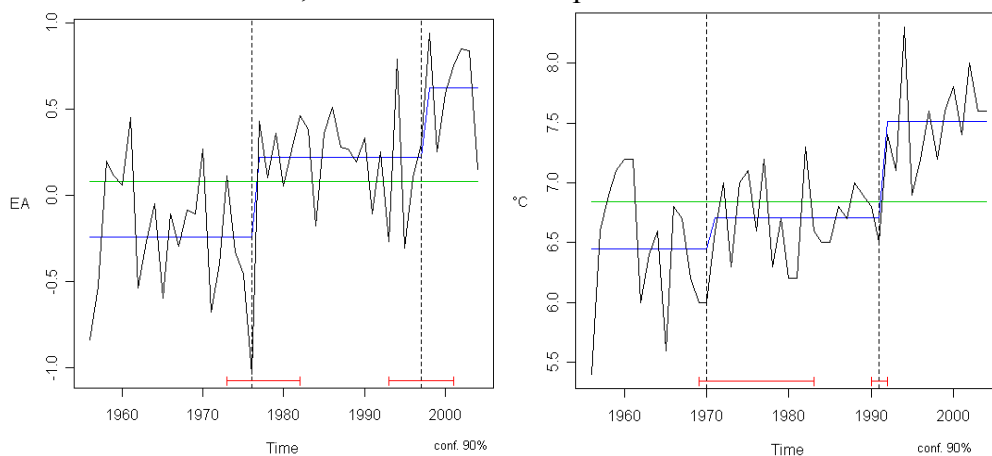


Figura 177: individuazione di un punto di due discontinuità per l'EA e le tmin, annuali. Periodo 1956-2004

3.8.3. SCAN

Precipitazioni

Tabella 15: correlazioni stagionali tra l'indice SCAN e le prec. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE SCAN-PREC 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.44	0.15	0.48	0.62	0.53
p	<0.01	n.s	<0.01	<0.01	<0.01

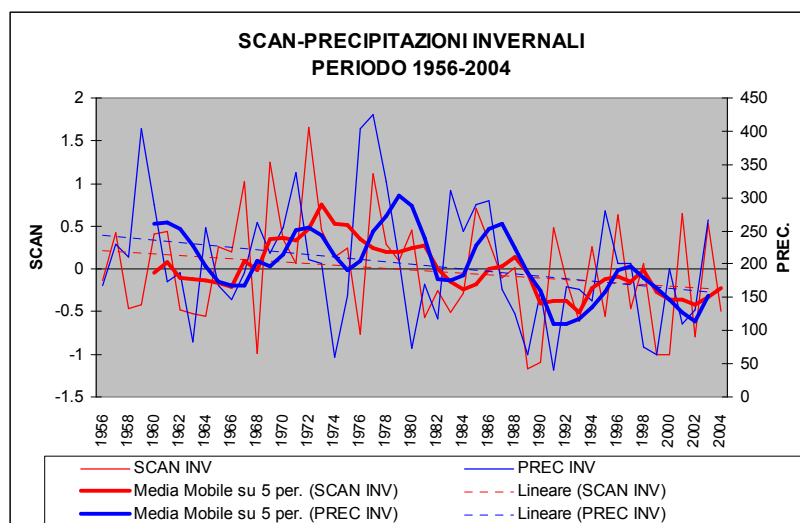


Figura 178: andamenti indice SCAN e le precipitazioni invernali. Periodo 1956-2004

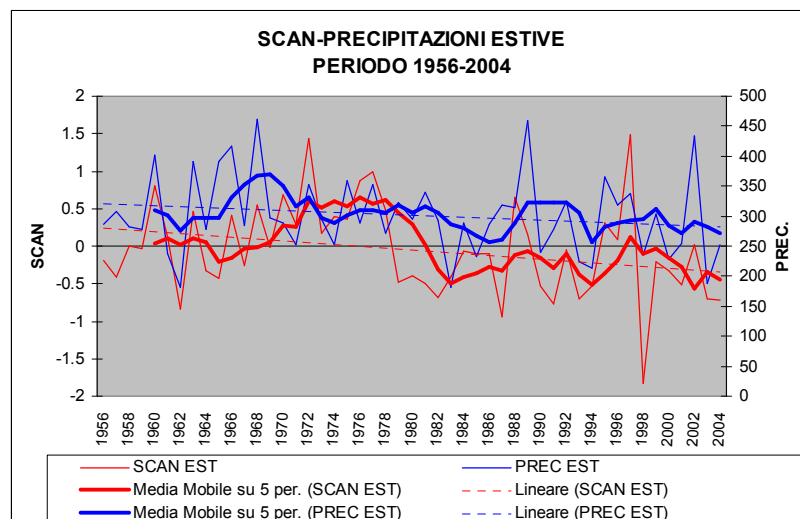


Figura 179: andamenti indice SCAN e le precipitazioni estive. Periodo 1956-2004

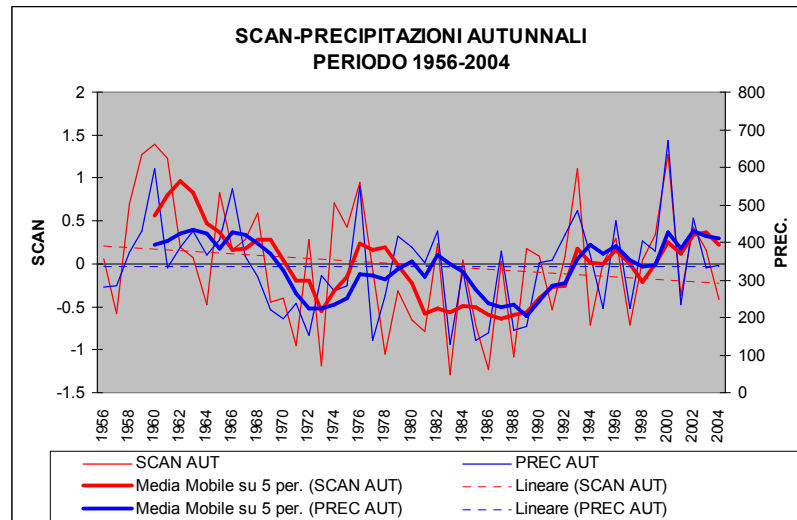


Figura 180: andamenti indice SCAN e le precipitazioni autunnali. Periodo 1956-2004

Analizzando l'andamento dell'indice SCAN in autunno si individua una serie di punti di discontinuità 1962, 1977 e 1988 ai quali “corrispondono” in maniera positivamente correlata ai punti di discontinuità delle precipitazioni autunnali che cadono rispettivamente nel 1967, 1982 e 1989. Si ricorda che la stagione autunnale, e soprattutto il mese di ottobre, è quella più piovosa e non presenta trend evidenti nel periodo 1956-2004, a differenza delle altre stagioni che presentano diminuzioni delle precipitazioni.

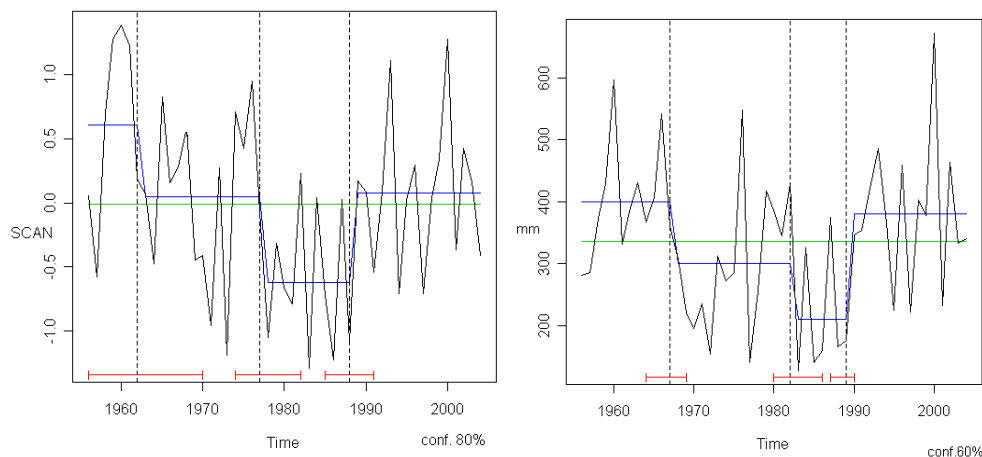


Figura 181: individuazione di tre discontinuità per lo SCAN e le precipitazioni, autunnali. Periodo 1956-2004

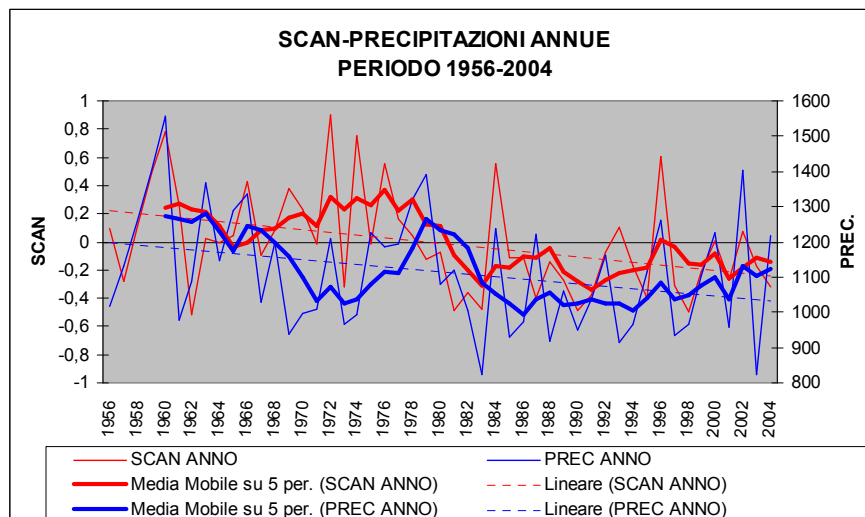


Figura 182: andamenti indice SCAN e le precipitazioni annue. Periodo 1956-2004

Temperatura massima

Tabella 16: correlazioni stagionali tra l'indice SCAN e la tmax. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE SCAN-TMAX 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	-0.36	-0.40	-0.46	-0.20	-0.14
p	<0.01	<0.01	<0.01	n.s.	n.s.

Il breakpoint dello SCAN estivo è individuabile nel 1978, con una confidenza pari al 90%. Di fianco il punto discontinuità delle temperature massime estive, individuabile nel 1990 e con una confidenza pari al 90%.

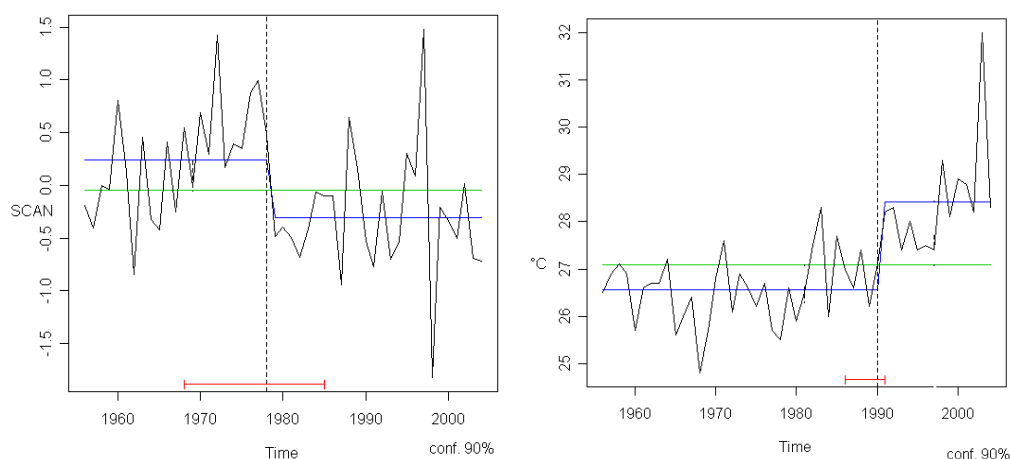


Figura 183: individuazione di una discontinuità per lo SCAN e le tmax, estivi. Periodo 1956-2004

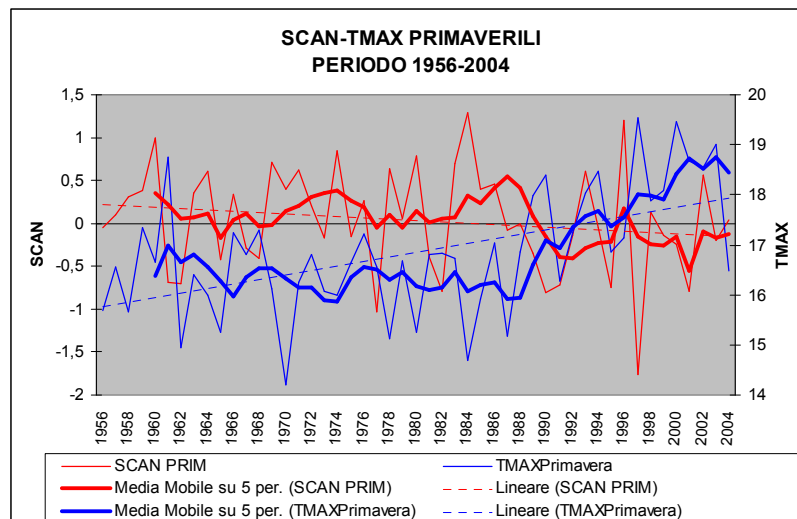


Figura 184: andamenti indice SCAN e le precipitazioni primaverili. Periodo 1956-2004

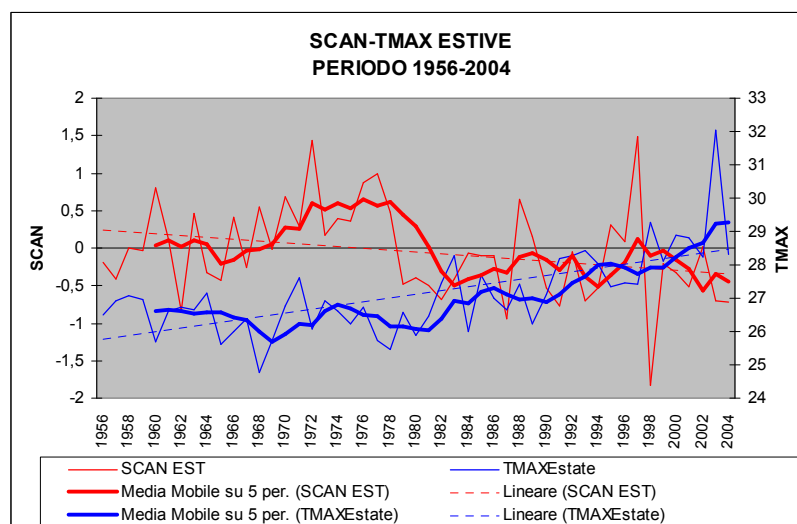


Figura 185: andamenti indice SCAN e le precipitazioni estive. Periodo 1956-2004

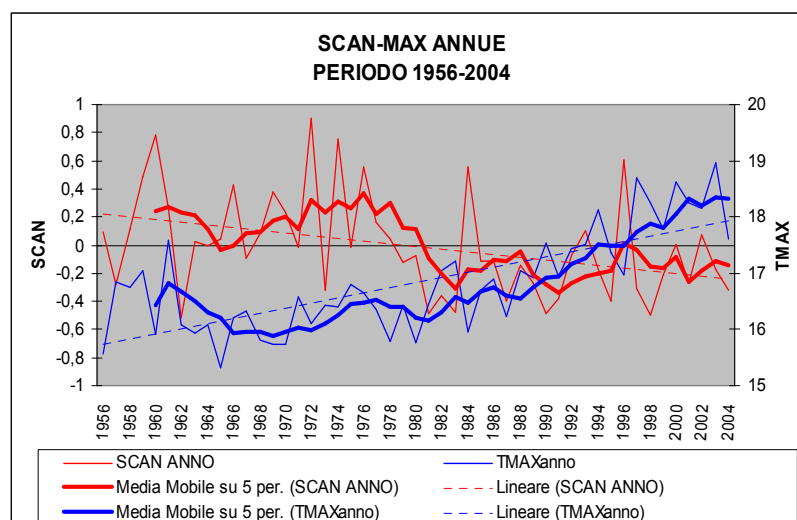


Figura 186: andamenti indice SCAN e le tmax annue. Periodo 1956-2004

Temperatura minima

Tabella 17: correlazioni stagionali tra l'indice SCAN e la tmin. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE SCAN-MIN 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	-0.01	-0.02	-0.36	0.33	0.34
p	n.s.	n.s.	<0.01	<0.05	<0.05

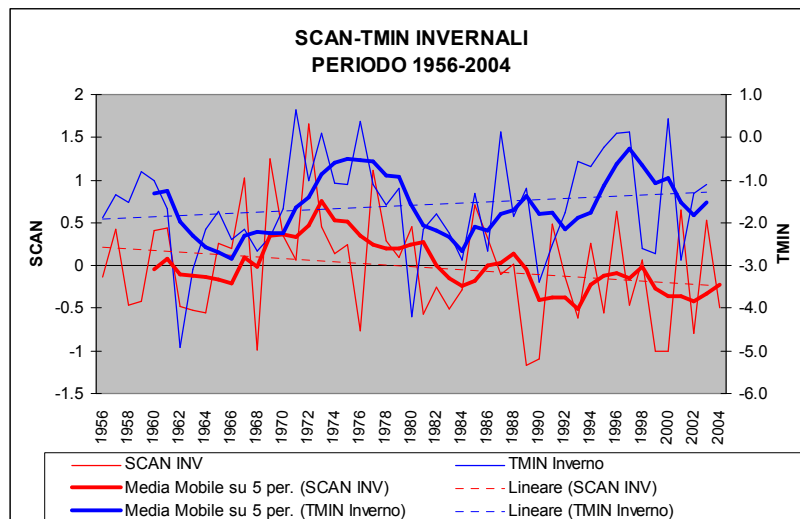


Figura 187: andamenti indice SCAN e le tmin invernali. Periodo 1956-2004

Il breakpoint dello SCAN estivo è individuabile nel 1978, con una confidenza pari al 90%. Di fianco il punto discontinuità delle temperature minime estive, individuabile nel 1990 e con una confidenza pari al 90% .

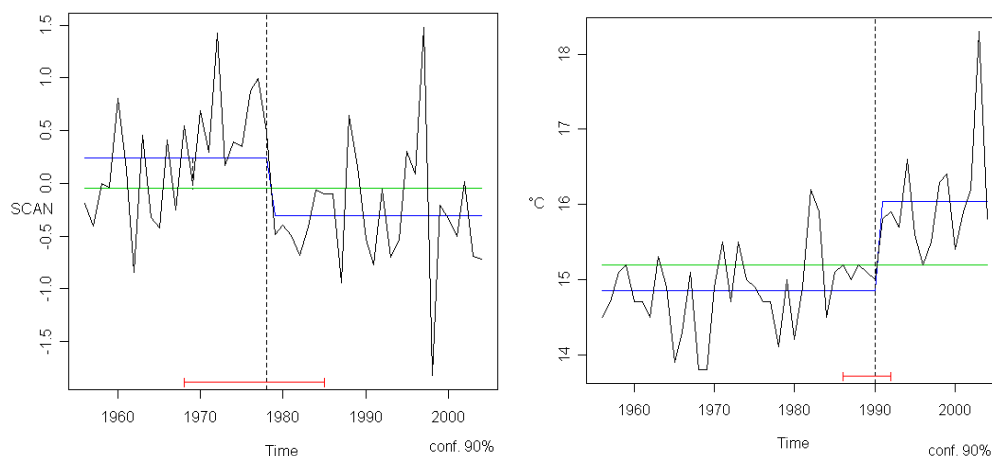


Figura 188: individuazione di una discontinuità per lo SCAN e le temp min, estivi. Periodo 1956-2004

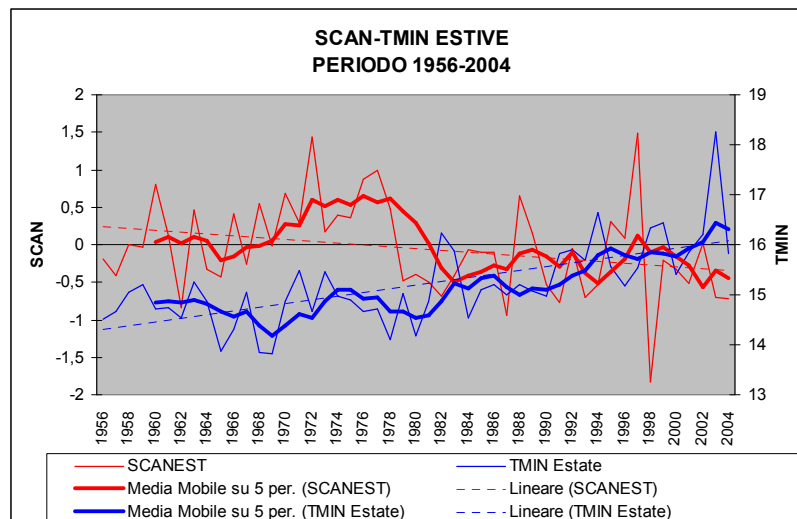


Figura 189: andamenti indice SCAN e le tmin, estivi. Periodo 1956-2004

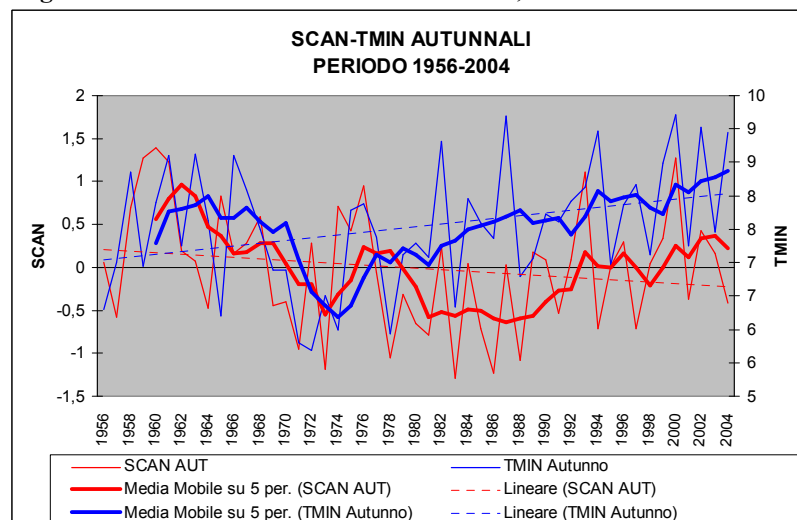


Figura 190: andamenti indice SCAN e le tmin, autunnali. Periodo 1956-2004

3.8.4. EAWR

Precipitazioni

Tabella 18: correlazioni stagionali tra l'indice EAWR e le prec. Periodo 1956-2004

CORRELAZIONE STAGIONALE EAWR-PREC 1956-2004	ANNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO	INVERNO
r	0.05	-0.10	-0.03	-0.13	-0.39
p	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0.01

Il breakpoint del EAWR invernale è individuabile nel 1986, con una confidenza tra il 1975 ed il 1993 pari al 90%. Il breakpoint delle precipitazioni invernali è individuabile nel 1987, con una confidenza tra il 1982 ed il 1989 pari al 90%.

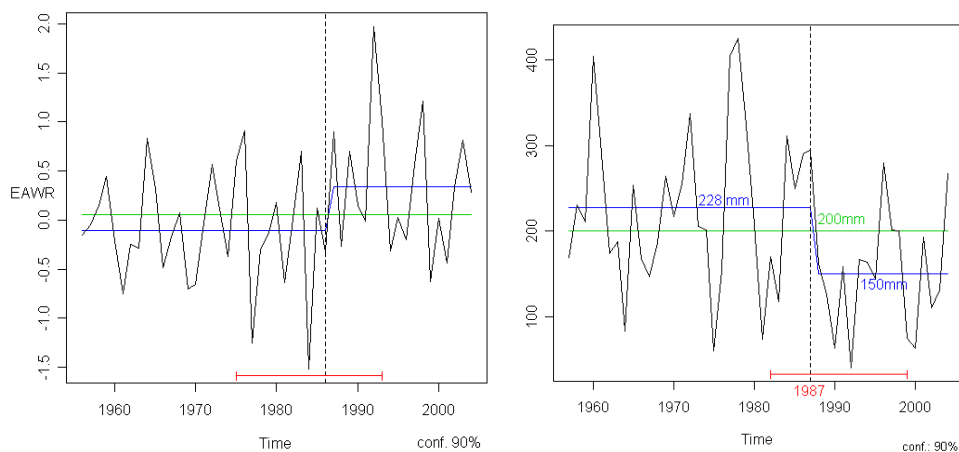


Figura 191: individuazione di una discontinuità per lo SCAN e le precipitazioni, invernali. Periodo 1956-2004

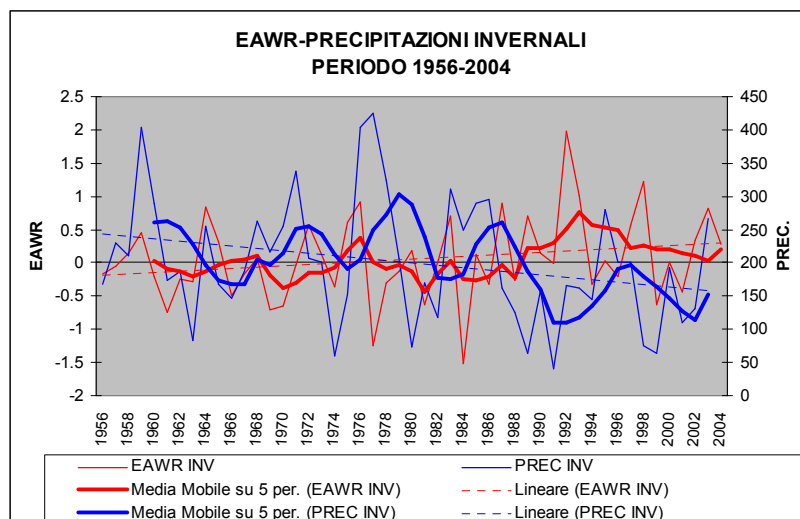


Figura 192: andamenti indice EAWR e le precipitazioni, invernali. Periodo 1956-2004

Temperature massime

L'indice EAWR non si correla significativamente con le temperature massime.

Temperature minime

L'indice EAWR non si correla significativamente con le temperature minime.

3.8.5. Riassunto correlazioni stagionali in Veneto, tra indici teleconnettivi e variabili meteorologiche

Tabella 21: riassunto correlazioni stagionali tra gli indici teleconnettivi, le prec, tmin e tmax. Periodo 1956-2004

		<i>NAO</i>	<i>EA</i>	<i>SCAN</i>	<i>EAWR</i>
<i>INVERNO</i>	<i>Tmax</i>	0.57 **	0.44 **	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	0.37 **	0.34 *	ns
	<i>P</i>	-0.50 **	ns	0.53 **	0.40 **
<i>PRIMAVERA</i>	<i>Tmax</i>	ns	0.41 **	-0.40 **	ns
	<i>Tmin</i>	ns	0.41 **	ns	ns
	<i>P</i>	ns	ns	ns	ns
<i>ESTATE</i>	<i>Tmax</i>	ns	0.45 **	-0.46 **	ns
	<i>Tmin</i>	ns	0.47 **	-0.36 **	ns
	<i>P</i>	ns	ns	0.48 **	ns
<i>AUTUNNO</i>	<i>Tmax</i>	ns	0.40 **	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	0.41 **	0.33 *	ns
	<i>P</i>	ns	ns	0.62 **	ns
<i>ANNO</i>	<i>Tmax</i>	0.29 *	0.62 **	-0.36 **	ns
	<i>Tmin</i>	0.33 *	0.60 **	ns	ns
	<i>P</i>	ns	ns	0.44 **	ns

** = trend significativo a $p < 0.01$; * = trend significativo a $p < 0.05$; ns = trend non significativo

3.8.6. Confronto dei pattern teleconnettivi in Veneto e Piemonte

Si è avuta la possibilità di effettuare un confronto tra le correlazioni individuate in Veneto tra gli indici o pattern teleconnettivi NAO, EA, SCAN, EAWR, le temperature massime, minime e le precipitazioni, e quelle individuate da Ciccarelli et al. (2007) in Piemonte. Benché si riferiscano a due serie storiche leggermente diverse, 1956-2004 per il Veneto e 1952-2002 per il Piemonte, il confronto è molto indicativo.

Per quanto riguarda il North Atlantic Oscillation Index, le correlazioni significative per entrambi le regioni avvengono durante l'inverno e confermano le caratteristiche prima descritte di tale pattern, ovvero la correlazione positiva con le temperature e negativa con le precipitazioni. L'unica sostanziale differenza è che mentre in Piemonte anche la temperatura minima è significativamente correlata, non lo è in Veneto. Apparentemente il Veneto, la regione situata più a est risentirebbe maggiormente dell'influenza delle correnti orientali siberiane nella determinazione dei valori minimi di temperatura, e meno delle correnti provenienti dall'Atlantico.

Tabella 22: correlazioni stagionali NAO in Veneto e Piemonte

		NAO VENETO	NAO PIEMONTE	** = trend significativo a p<0.01; * = trend significativo a p<0.05; ns = trend non significativo
INVERNO	Tmax	0.57 **	0.67 **	
	Tmin	ns	0.42 **	
	P	-0.50 **	-0.31 *	

Per quanto riguarda l'East Atlantic, vengono confermate sia in Veneto che in Piemonte le correlazioni positive esistenti con le temperature massime e minime durante tutto l'anno, come suggeriscono le caratteristiche di questo pattern. Le uniche differenze compaiono durante l'estate che presenta la sola correlazione con le temperature minime in Piemonte, mentre in Veneto anche le temperature massime e le precipitazioni sono positivamente e negativamente correlate.

Tabella 23: correlazioni stagionali EA in Veneto e Piemonte

		EA VENETO	EA PIEMONTE	** = trend significativo a p<0.01; * = trend significativo a p<0.05; ns = trend non significativo
INVERNO	Tmax	0.44 **	0.36 **	
	Tmin	0.37 **	0.35 *	
	P	ns	ns	
PRIMAVERA	Tmax	0.41 **	0.28 *	
	Tmin	0.41 **	0.47 **	
	P	ns	ns	
ESTATE	Tmax	0.45 **	ns	
	Tmin	0.47 **	0.31 *	
	P	-0.23 *	ns	
AUTUNNO	Tmax	0.40 **	0.32 *	
	Tmin	0.41 **	0.47 **	
	P	ns	ns	

Per quanto riguarda lo Scandinavian Pattern, vengono confermate sia in Veneto che in Piemonte molte correlazioni. La stagione più correlata è quella estiva sia per quanto riguarda le temperature che le precipitazioni. Risultano correlate con lo stesso segno e in entrambe le Regioni anche le precipitazioni invernali, autunnali e le temperature massime primaverili. In Veneto risultano essere correlate significativamente anche le temperature minime invernali e autunnali. Mentre in Piemonte sono correlate significativamente le temperature massime autunnali e le precipitazioni primaverili.

Tabella 24: correlazioni stagionali SCAN in Veneto e Piemonte

		SCAN VENETO	SCAN PIEMONTE
INVERNO	<i>Tmax</i>	ns	ns
	<i>Tmin</i>	0.34 *	ns
	<i>P</i>	0.53 **	0.30 *
PRIMAVERA	<i>Tmax</i>	-0.40 **	-0.55 **
	<i>Tmin</i>	ns	ns
	<i>P</i>	ns	0.32 *
ESTATE	<i>Tmax</i>	-0.46 **	-0.54 **
	<i>Tmin</i>	-0.36 **	-0.50 **
	<i>P</i>	0.48 **	0.39 **
AUTUNNO	<i>Tmax</i>	ns	-0.57 **
	<i>Tmin</i>	0.33 *	ns
	<i>P</i>	0.62 **	0.60 **

** = trend significativo a
p<0.01;
* = trend significativo a
p<0.05;
ns = trend non significativo

Per quanto riguarda l'East Atlantic-West Russian pattern l'unica correlazione significativa è quella positiva presente in Veneto durante l'inverno con le precipitazioni.

Tabella 25: correlazioni stagionali EAWR in Veneto e Piemonte

		EAWR VENETO	EAWR PIEMONTE
INVERNO	<i>Tmax</i>	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	ns
	<i>P</i>	0.40 **	ns
PRIMAVERA	<i>Tmax</i>	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	ns
	<i>P</i>	ns	ns
ESTATE	<i>Tmax</i>	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	ns
	<i>P</i>	ns	ns
AUTUNNO	<i>Tmax</i>	ns	ns
	<i>Tmin</i>	ns	ns
	<i>P</i>	ns	ns

** = trend significativo a
p<0.01

3.9. CONSIDERAZIONI AGROCLIMATICHE

3.9.1. Ondate di caldo

Nelle temperature massime il trend significativo più rilevante si manifesta nella stagione estiva, che può essere decisiva nel determinare fenomeni da cui dipende l'esito produttivo di molte colture agrarie, in quanto le situazioni di stress da caldo dovute al superamento della temperatura cardinale massima o della temperatura critica massima, hanno effetti assai più rilevanti se tali condizioni si manifestano in presenza di stress idrico. Inoltre le ondate di caldo vanno ad incidere sulla cadenza e temporizzazione di operazioni colturali quali i trattamenti le irrigazioni e la raccolta.

Il trend del n° di giorni medi con T massima assoluta $\geq 34^{\circ}\text{C}$ presenta un trend positivo altamente significativo ($p < 0.1$) che evidenzia come dopo gli anni 90 siano molti gli anni con numero di giorni "caldissimi" superiore a 10. Evidente il dato del 2003 dove ciascuna delle 9 stazioni considerate ha avuto 36 giorni "caldissimi". Il n° medio annuo di giorni con $t_{\max} \geq 34^{\circ}\text{C}$ è di circa 6 giorni.

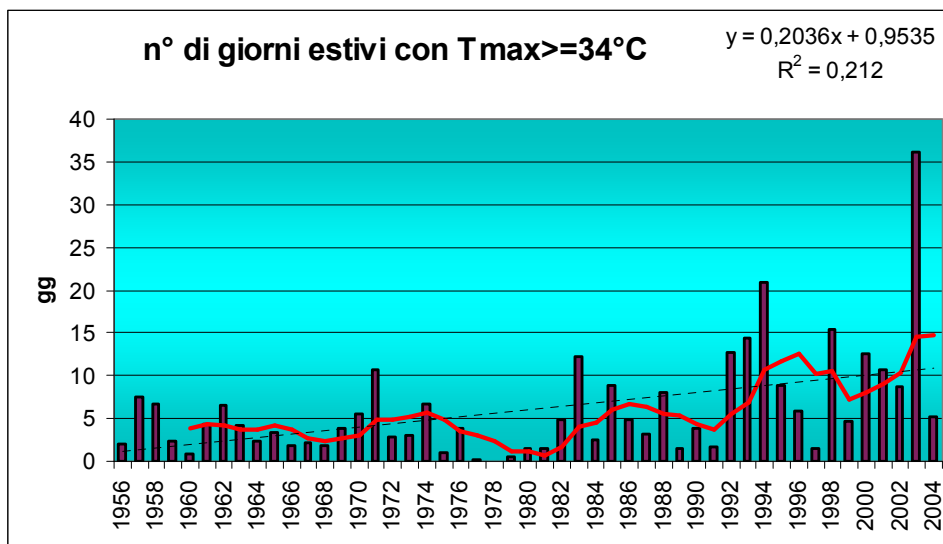


Figura 193: n° di giorni estivi con $t_{\max} \geq 34^{\circ}\text{C}$. Periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità individua un break-point nel 1991, ponendo in evidenza due sottoperiodi "pre e post" con giorni "caldissimi" che passano da 3 a 12 circa.

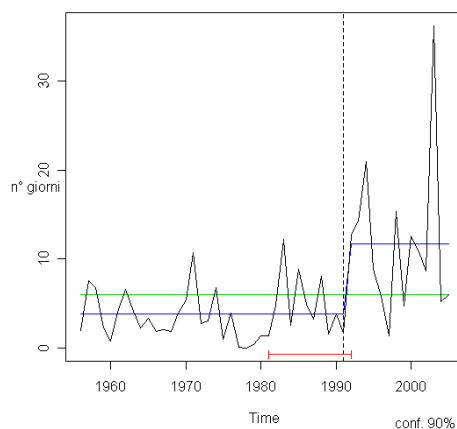


Figura 194: analisi della discontinuità relativa al n° di giorni estivi con $t_{\max} \geq 34^{\circ}\text{C}$. Periodo 1956-2004

Il n° di giorni consecutivi con temperatura massima assoluta $\geq 34^{\circ}\text{C}$, il cui valore medio annuo è di 3, presenta un trend di incremento altamente significativo ($p < 0.1$). In tale quadro spicca il 2003 con un'ondata di caldo durata ben 13 giorni.

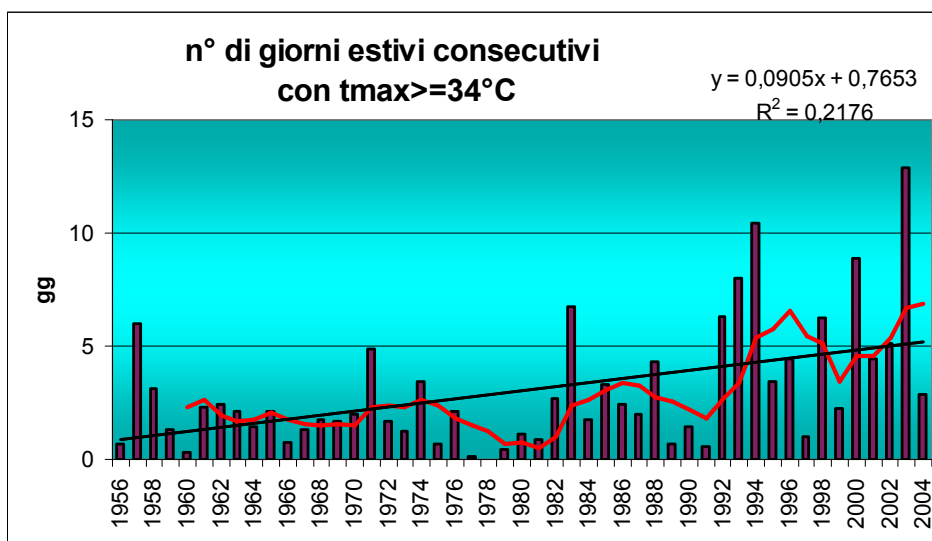


Figura 195: n° di giorni estivi consecutivi con $t_{\max} \geq 34^{\circ}\text{C}$. Periodo 1956-2004

3.9.2. Gelate tardive

Le basse temperature nei mesi di marzo-aprile, soprattutto se accompagnate da gelate tardive, sono in grado di influenzare i risultati produttivi finali di molte colture agrarie.

A tale riguardo il n° medio di giorni nei mesi di marzo-aprile con temperature minime $\leq -2^{\circ}\text{C}$ e $\leq 0^{\circ}\text{C}$, in pianura (7 stazioni), presenta un lieve trend negativo, peraltro non significativo.

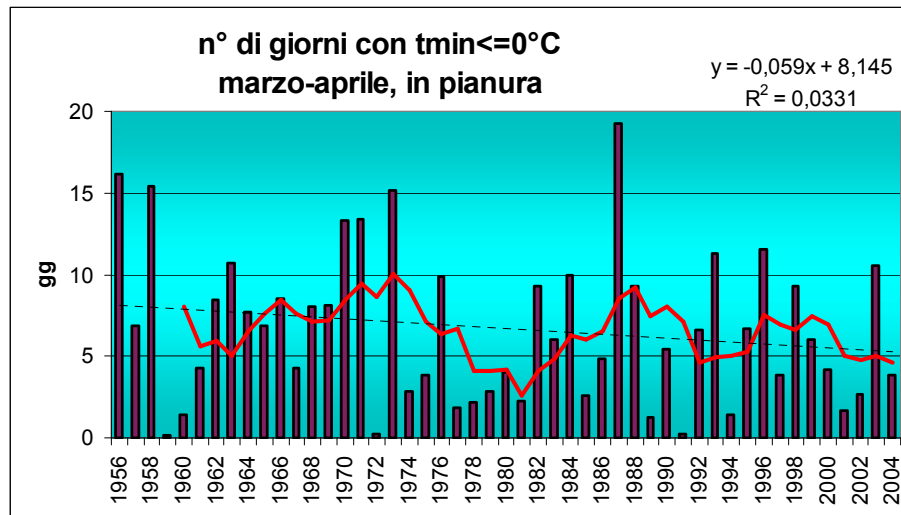


Figura 196: n° di giorni con $t_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$..Marzo-Aprile, in pianura. Periodo 1956-2004

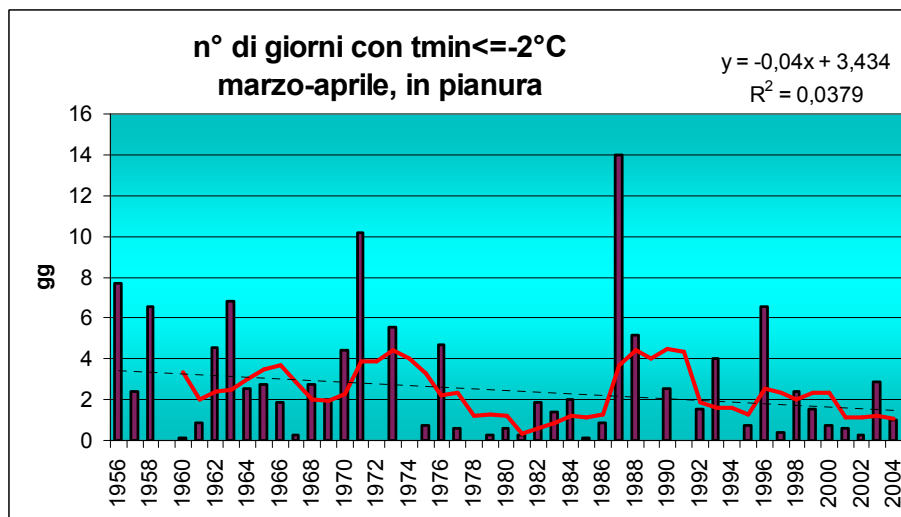


Figura 197: n° di giorni con $t_{min} \leq -2^{\circ}\text{C}$..Marzo-Aprile, in pianura. Periodo 1956-2004

Sempre nei mesi di marzo-aprile, il trend del n° medio di giorni consecutivi con temperature minime $\leq -2^{\circ}\text{C}$ e ≤ 0 in pianura è negativo e non significativo.

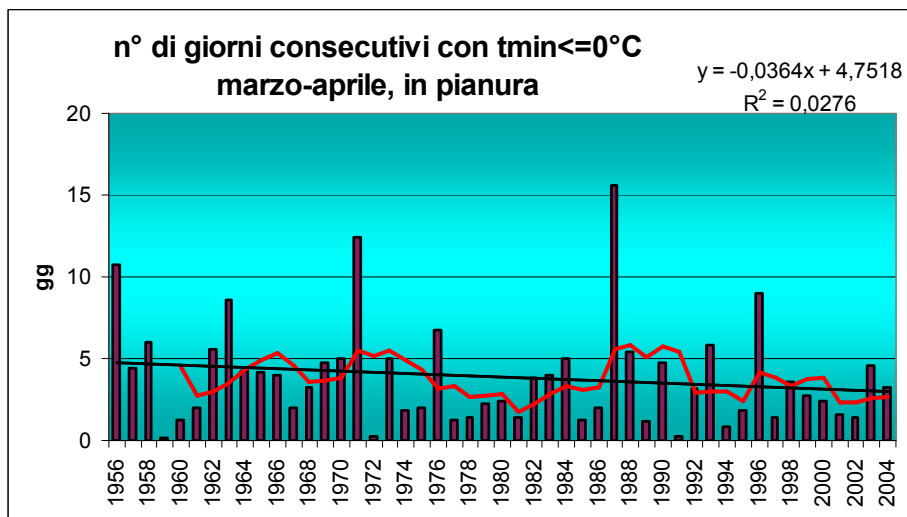


Figura 198: n° di giorni consecutivi con $t_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$..Marzo-Aprile, in pianura. Periodo 1956-2004

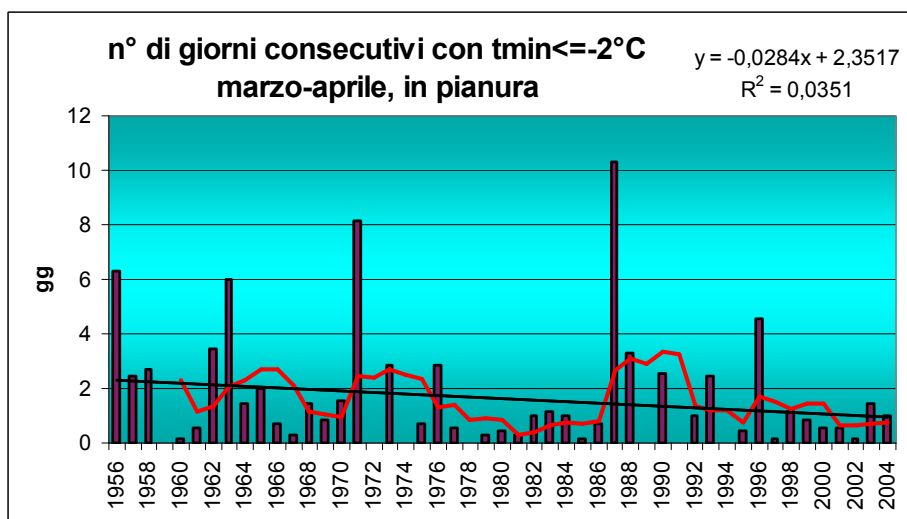


Figura 199: n° di giorni consecutivi con $t_{min} \leq -2^{\circ}\text{C}$..Marzo-Aprile, in pianura. Periodo 1956-2004

3.9.3 Gelate precoci

Le temperature minime e le gelate precoci da esse causate nei mesi di ottobre-novembre, sono in grado di influenzare i risultati produttivi finali delle colture agrarie che ancora si trovano in campo.

In particolare il n° medio di giorni nei mesi di ottobre-novembre con temperature minime $\leq -2^{\circ}\text{C}$ e $\leq 0^{\circ}\text{C}$ in pianura (7 stazioni) presenta un trend non significativo.

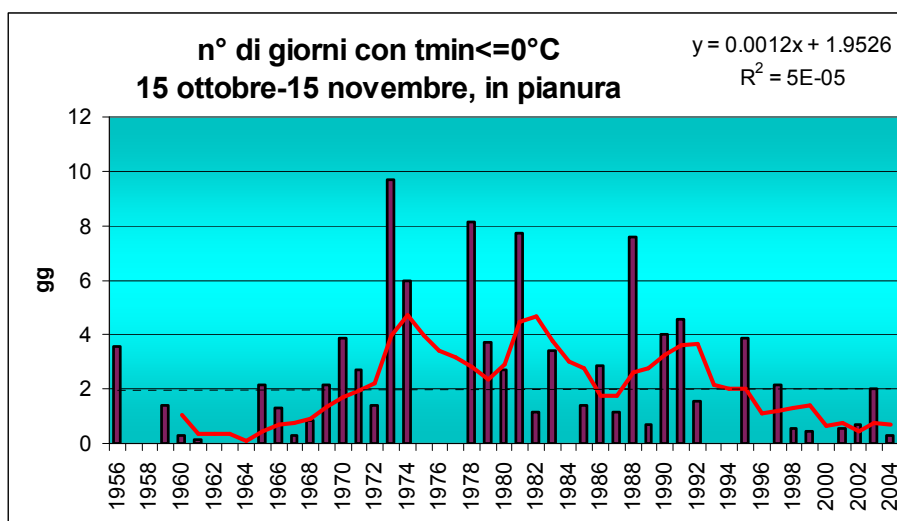


Figura 200: n° di giorni con $t_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$. 15 ottobre-15 novembre, in pianura. Periodo 1956-2004

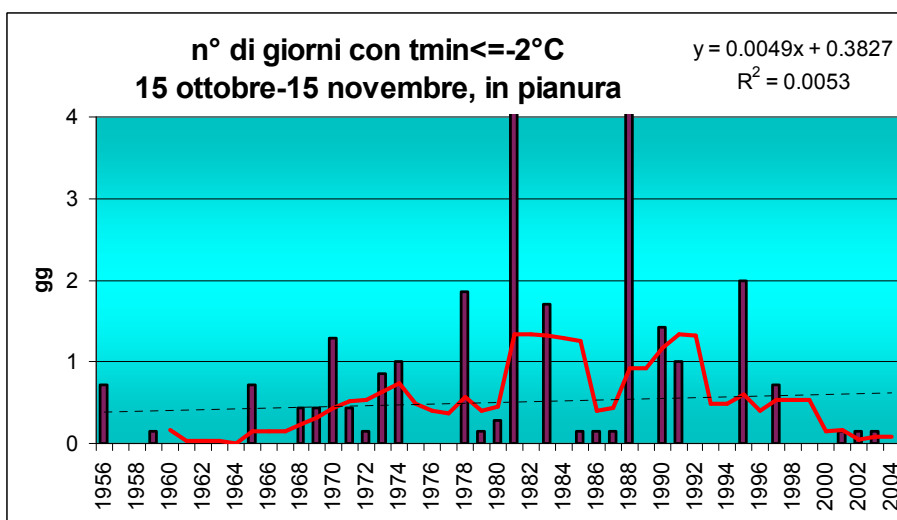


Figura 201: n° di giorni con $t_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$. 15 ottobre-15 novembre, in pianura. Periodo 1956-2004

Anche il trend del n° medio di giorni consecutivi, nei mesi ottobre-novembre, con temperature minime $\leq -2^{\circ}\text{C}$ e ≤ 0 , in pianura, non è significativo.

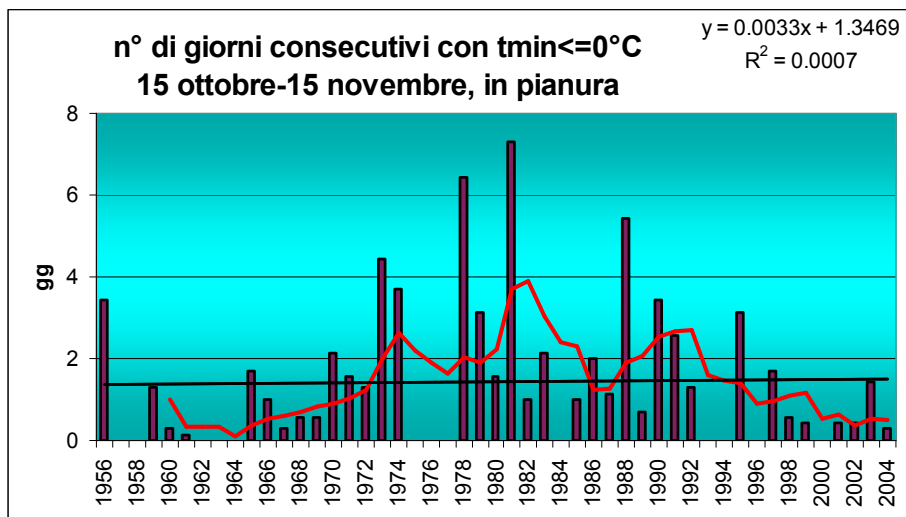


Figura 202: n° di giorni consecutivi con $t_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$.. 15ottobre-15 novembre, in pianura. Periodo 1956-2004

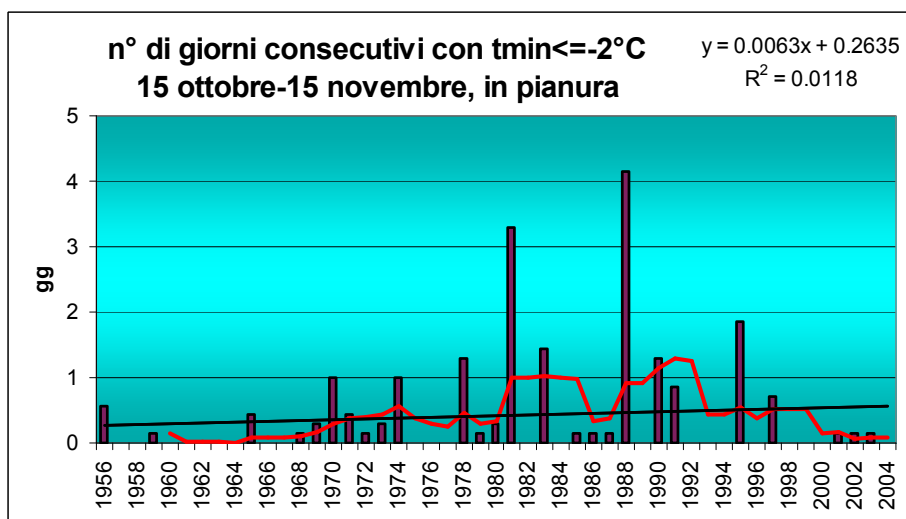


Figura 203: n° di giorni con $t_{min} \leq -2^{\circ}\text{C}$. 15ottobre-15 novembre, in pianura. Periodo 1956-2004

PIOGGIA, EVAPOTRASPIRAZIONE E BILANCIO IDRO-CLIMATICO ESTIVI

Anche in questo caso può essere interessante analizzare il periodo estivo, durante il quale il soddisfacimento delle esigenze idriche delle colture ed la conseguente programmazione irrigua sono fondamentali per ottenere rese quali- quantitativamente rilevanti.

3.9.4. Precipitazioni estive

L'analisi di discontinuità delle precipitazioni estive registra nel 1981 il breakpoint intorno al quale sono avvenute le diminuzioni di precipitazione; tale analisi individua due sottoperiodi, pre e post 1981, rispettivamente con valori medi di precipitazione pari a 319 e 283 mm. La media dell'intero periodo è pari a circa 300 mm.

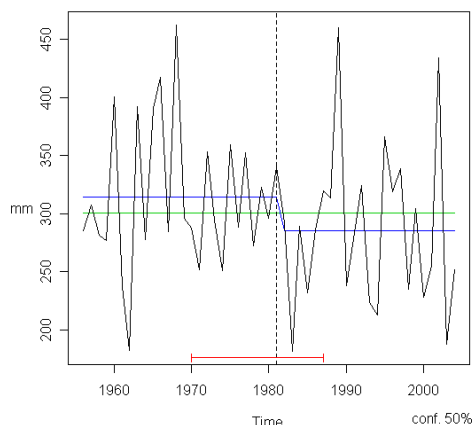


Figura 204: analisi di discontinuità delle precipitazioni estive periodo 1956-2004

Individuato il punto di discontinuità, è possibile descrivere a livello territoriale l'andamento delle precipitazioni estive, prima e dopo il 1981. Si nota come le isolinee localizzate sul Polesine "migrino" leggermente verso nord occupando la parte centrale della pianura.

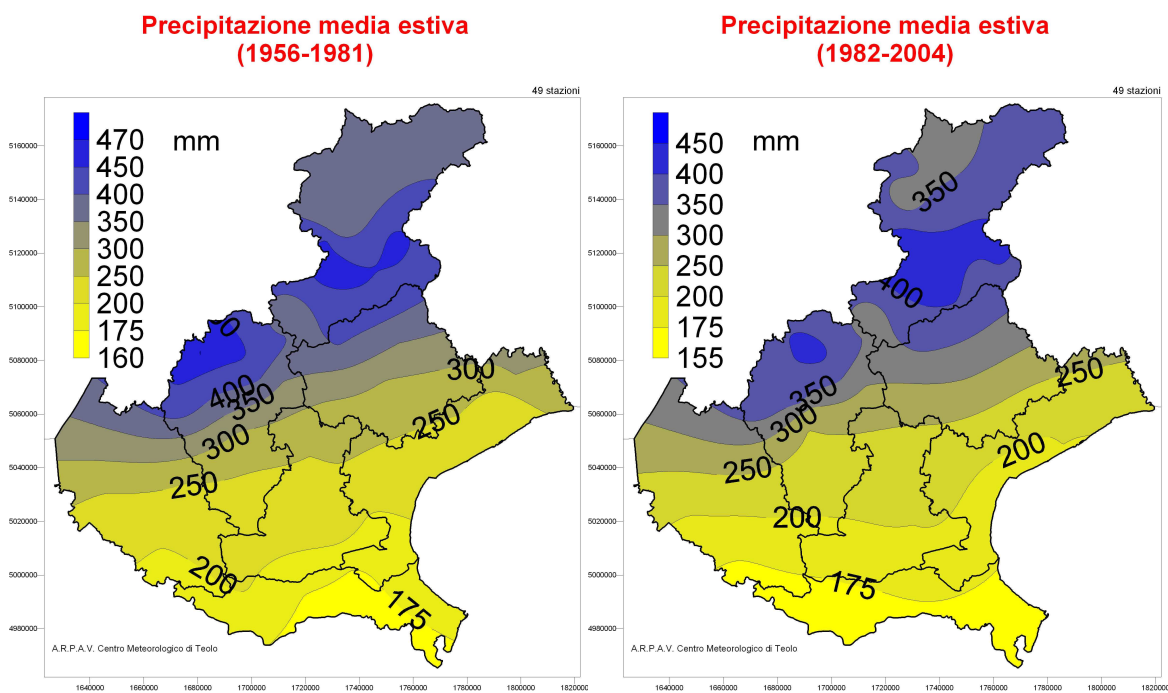


Figura 205: le precipitazioni estive medie sul territorio, prima e dopo il 1981

3.9.5. ET0 estiva

Dall'analisi di discontinuità eseguita per 9 stazioni emerge il 1990 come anno più probabile di discontinuità, che, con una confidenza del 90% ricade fra li anni 1984 e 1991.

A seguito del breakpoint l'ET0 cresce da un valore medio di 443mm (nel periodo 1956-1990) al valore medio di 472 mm (periodo 1991-2004).

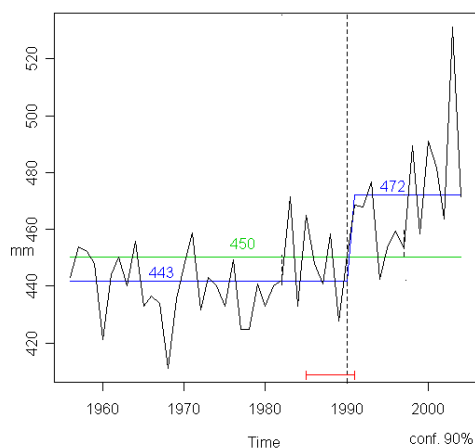


Figura 206: analisi di discontinuità della ET0 estiva, periodo 1956-2004

Individuato il punto di discontinuità, è possibile descrivere a livello territoriale l'andamento dell'evapotraspirazione estiva di riferimento prima e dopo il 1990. Si nota come le isolinee localizzate sul Polesine “migrino” verso nord occupando la parte centrale della pianura. E' evidente lo spostamento soprattutto delle isolinee dei 460 mm e oltre.

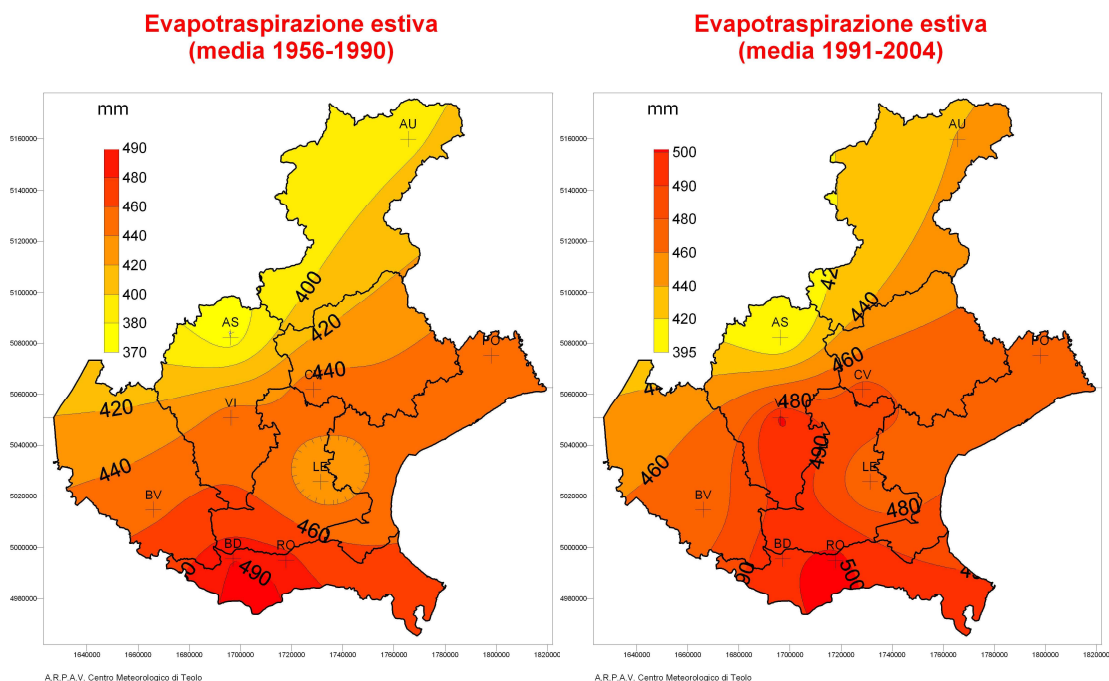


Figura 207: ET0 estive medie sul territorio, prima e dopo il 1990

3.9.6. Bilancio idroclimatico estivo

L'analisi di discontinuità per l'individuazione del break-point (punto di discontinuità), permette di evidenziare meglio il punto discontinuità del 1980 intorno al quale si sono verificati per queste nove stazioni l'80% (confidenza) di quei bruschi cambiamenti di tendenza che hanno portato il B.I. a decrescere da un valore medio di -164mm ad un valore medio pari a -220 mm dopo il 1989.

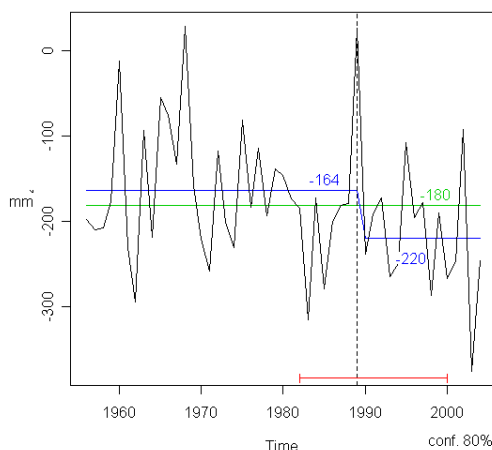


Figura 208: analisi di discontinuità del B.I. estivo, periodo 1956-2004

Individuato il punto di discontinuità, è possibile descrivere a livello territoriale l'andamento del B.I. prima e dopo il 1989. Si nota come le isolinee localizzate sul Polesine "migrino" verso nord occupando la parte di pianura centrale. E' evidente la comparsa sul Polesine di una "nuova isolinea" con valore più negativo pari a -350mm, mentre nella zona montana e pedemontana tale spostamento è minore.

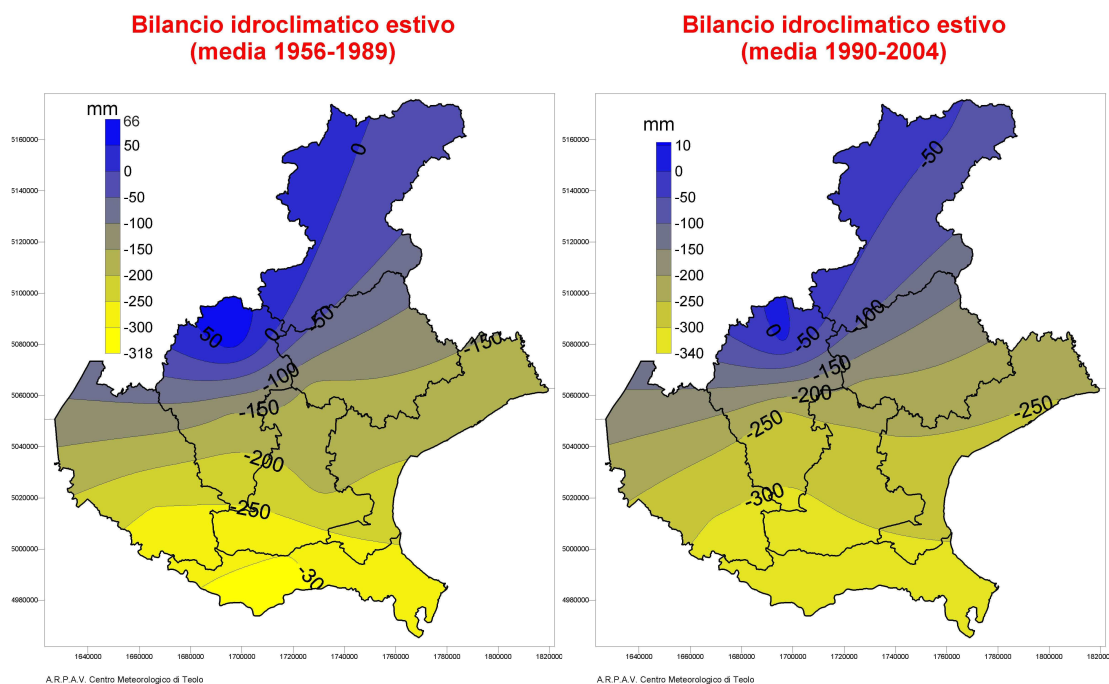


Figura 209: B.I. estivo medio sul territorio, prima e dopo il 1989

3.9.7. Riserva idrica del suolo

La riserva idrica media annua del suolo per le sette stazioni di pianura, nel periodo considerato, è pari a 68mm. Il trend risulta essere significativamente in diminuzione di circa 14 mm/secolo sempre che il trend si mantenga linearmente costante.

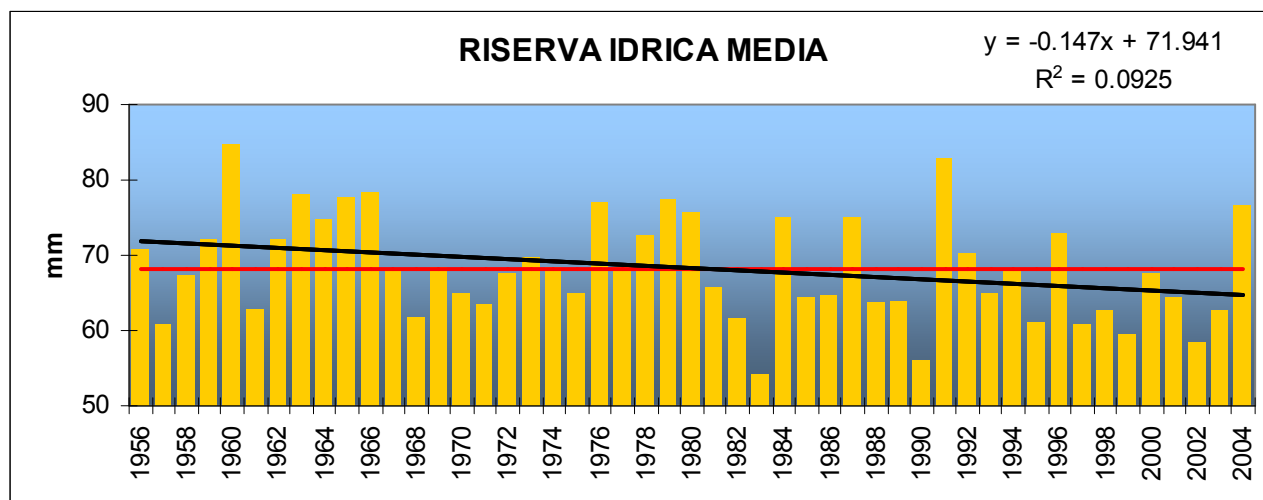
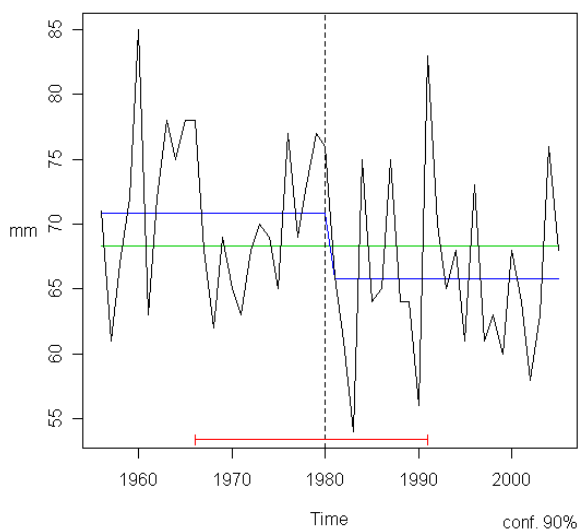


Figura 210: Contenuto idrico: $cit = ci_{t-1} + ru - inf - eto$

cit è calcolato in funzione delle piogge utili, dell'infiltrazione e dell' ET_0 di riferimento (Hargreaves). Le caratteristiche del suolo considerate sono la capacità idrica massima pari a 220mm/m, la capacità di campo pari a 130 mm/m ed il punto di appassimento pari a 32mm. Per ragioni di semplicità si è considerato nullo il ruscellamento, mentre l'eccesso idrico rispetto all'riserva utile massima complessiva è considerato perso per infiltrazione.

Il punto di discontinuità applicato alla riserva idrica media annua del suolo cade nel 1980 come il bilancio idroclimatico annuo ($P-ET_0$), passando da valori medi di circa 72mm fino al 1980 a valori medi di 65mm dopo il 1980.



FENOLOGIA

Come già in precedenza sottolineato, la fenologia rappresenta un utile proxy in grado fornire informazioni riguardanti gli effetti degli attuali trend agroclimatici sulle colture agrarie di pieno campo. Per stimare le date di comparsa delle fasi si utilizza un semplice modello a somme termiche senza alcun troncamento per le temperature che superano il cardinale massimo.

3.9.8. Frumento

Ipotizzando di seminare il 25 ottobre, dal 1956 al 2004, la stessa varietà di frumento, con data di emergenza del 4 novembre e con una esigenza termica di 1150 gradi giorno (GDD), $T_{soglia}=0^{\circ}\text{C}$ (T_s) dall'emergenza alla fioritura, e pari a 1150 GDD ($T_s=6^{\circ}\text{C}$) dall'emergenza alla maturazione, si possono individuare gli effetti dei trend di temperatura in atto sullo sviluppo del frumento, individuando di anno in anno rispettivamente la data di fioritura e maturazione, e di conseguenza il suo trend complessivo. Questo calcolo è stato effettuato sulle sole 7 stazioni di pianura.

Per quanto riguarda le fioriture è evidente il trend lineare negativo altamente significativo che descrive un progressivo anticipo della data di fioritura, che mediamente si verifica il 27 aprile. La media mobile ben descrive un andamento altalenante fino agli anni '90. Dopo gli anni '90 la data di fioritura rimane costantemente sotto la media.

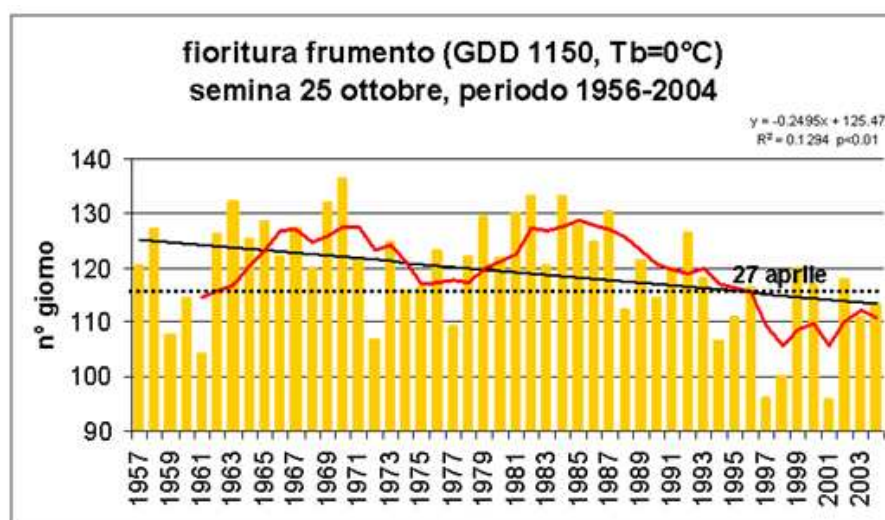


Figura 211: trend data di fioritura del frumento nel periodo 1956-2004

Anche l'analisi di discontinuità delle date di fioritura individua come anno di discontinuità il 1993, suddividendo il periodo 1964-2004 in due sottoperiodi: 1956-1993 e 1994-2004, con date medie di fioritura che passano dal 2 maggio al 19 aprile, con un anticipo di circa 2 settimane.

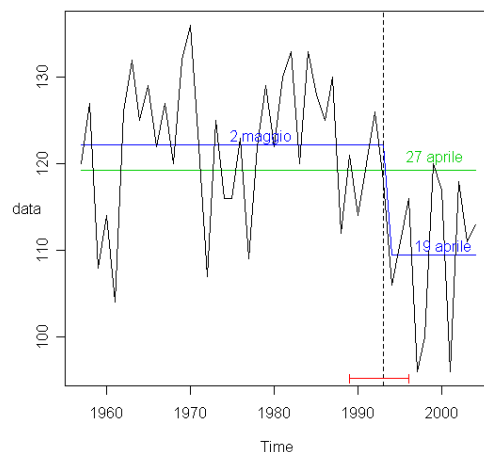


Figura 212: punto di discontinuità della data di fioritura del frumento nel periodo 1956-2004

Per quanto riguarda la data di maturazione, anche in questo caso è evidente il trend lineare negativo altamente significativo che descrive un progressivo anticipo della maturazione che mediamente si individuava il 22 giugno. Anche la media mobile descrive un andamento altalenante fino agli anni '90. Dopo gli anni '90 la data di maturazione è in costante anticipo.

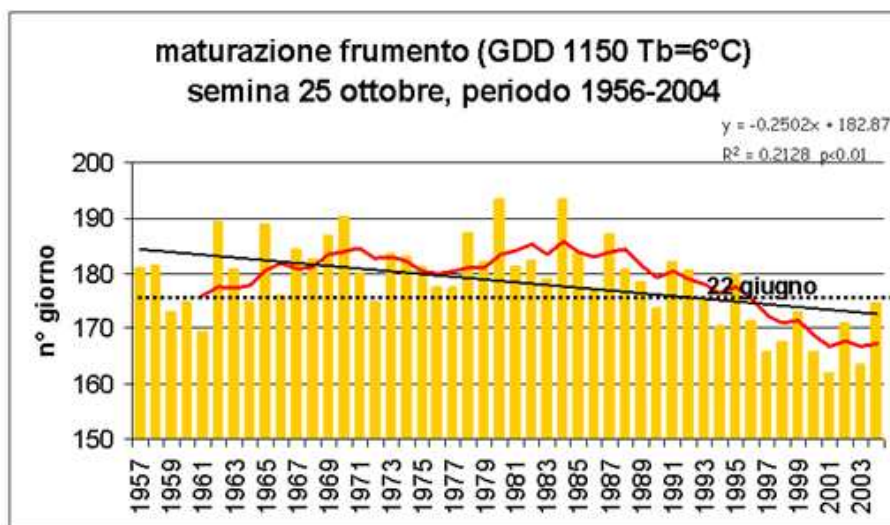


Figura 213: trend della data di maturazione del frumento nel periodo 1956-2004

Anche l'analisi di discontinuità delle date di maturazione individua come anno di discontinuità il 1992 e suddivide il periodo 1964-2004 in due sottoperiodi (1956-1992 e 1993-2004) con date medie di maturazione che passano dal 30 giugno al 19 giugno, con un anticipo di circa 11 giorni.

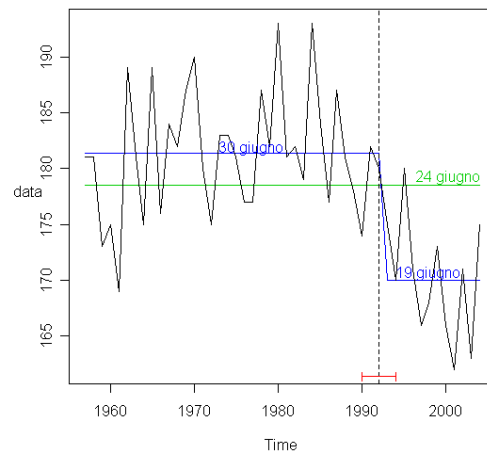


Figura 214: punto di discontinuità della data di maturazione del frumento nel periodo 1956-2004

Il numero di giorni tra fioritura e maturazione rimane costante e pari a circa 58 giorni.

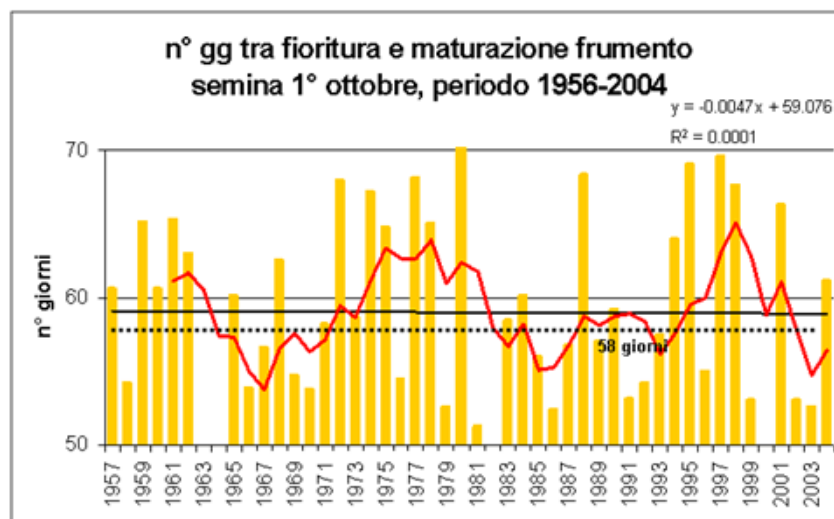


Figura 215: trend del numero di gg tra fioritura e maturazione del frumento nel periodo 1956-2004

3.9.9. Mais

Ipotizzando di seminare il 1° aprile, dal 1956 al 2004, la stessa varietà di mais, con una esigenza termica espressa dai gradi giorno (GDD), pari a 820 gradi giorno (GDD), $T_{soglia}=8^{\circ}\text{C}$ (T_s) per dalla semina alla fioritura, e pari a 1750 GDD ($T_s=8^{\circ}\text{C}$) dalla semina alla maturazione, si possono individuare gli effetti dei trend di temperatura in atto sullo sviluppo del mais, registrando di anno in anno rispettivamente la data di fioritura e maturazione, e di conseguenza il suo trend complessivo. Questo calcolo è stato effettuato sulle sole 7 stazioni di pianura.

Per quanto riguarda le fioriture è evidente il trend lineare negativo altamente significativo che descrive un progressivo anticipo della data di fioritura che mediamente si individuava al 30 maggio. La media mobile ben descrive un andamento altalenante fino agli anni '90. Dopo i primi anni '90 la data di fioritura rimane costantemente sotto la media.

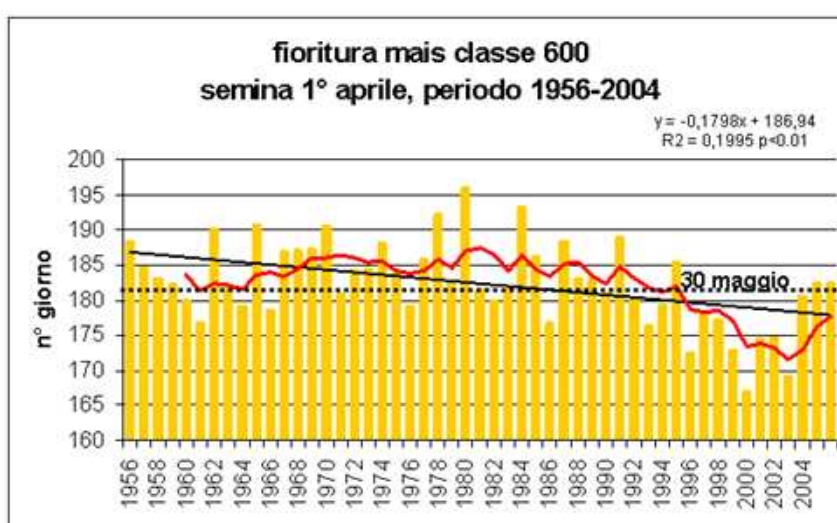


Figura 216: trend data di fioritura del mais nel periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità delle date di fioritura individua come anno di discontinuità il 1995 e suddivide il periodo 1964-2004 in due sottoperiodi 1956-1995 e 1996-2004 con date medie di fioritura che passano dal 2 luglio al 21 giugno, con un anticipo di circa 11 giorni.

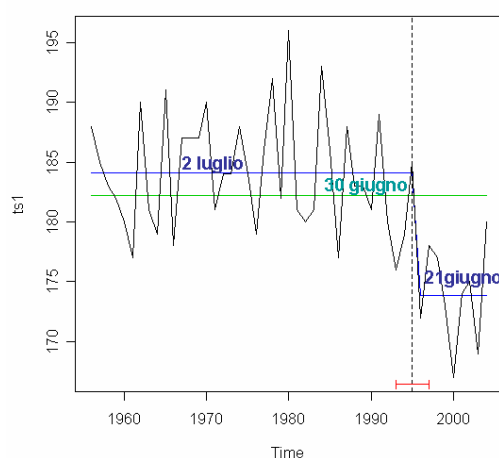


Figura 217: punto di discontinuità della data di fioritura del mais nel periodo 1956-2004

Per quanto riguarda la data di maturazione, anche in questo caso è evidente il trend lineare negativo altamente significativo che descrive un progressivo anticipo della maturazione che mediamente ha luogo il 30 agosto. Anche la media mobile descrive un andamento altalenante fino agli anni '90. Dopo gli anni 90 la data di maturazione è in costante anticipo.

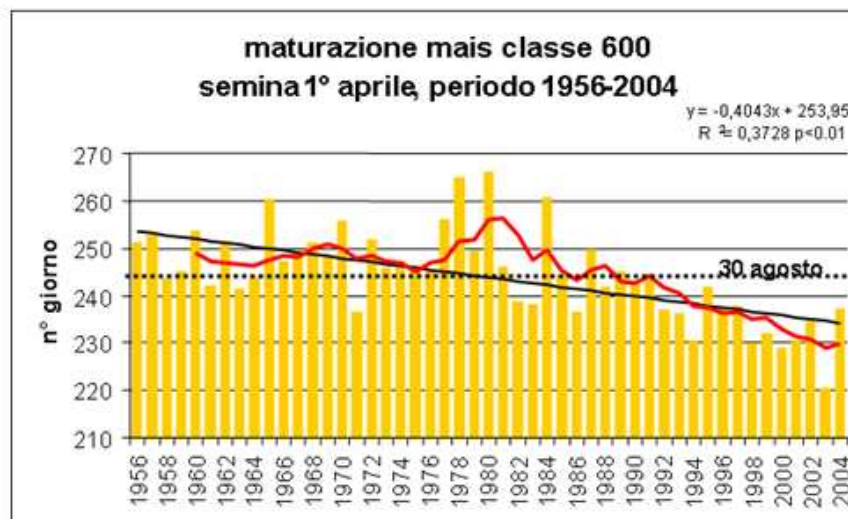


Figura 218: trend della data di maturazione del mais nel periodo 1956-2004

L'analisi di discontinuità delle date di maturazione individua come break-point il 1991, e suddivide il periodo 1964-2004 in due sottoperiodi 1956-1991 e 1992-2004 con date medie di fioritura che passano dal 9 settembre al 20 agosto, con un anticipo di circa 20 giorni.

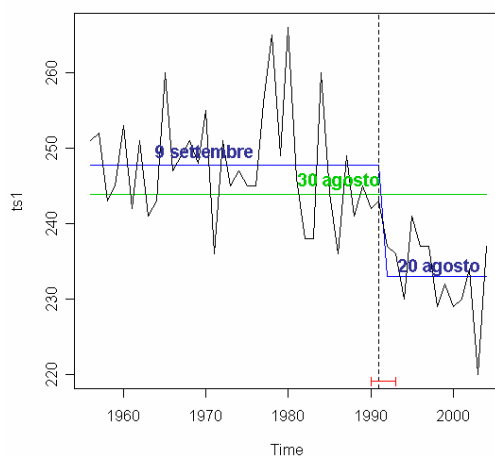


Figura 219: punto di discontinuità della data di maturazione del mais nel periodo 1956-2004

E' interessante ricordare che le temperature massime estive presentano come anno più probabile di discontinuità il 1990, con una confidenza del 90% la discontinuità che cade nel periodo 1987-1991.

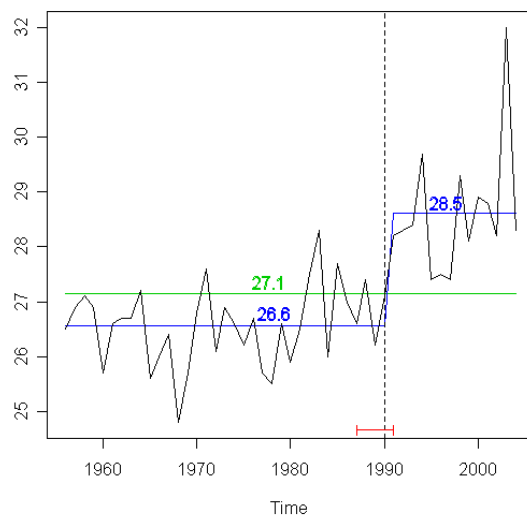


Figura 220: punto di discontinuità temperature massime estive nel periodo 1964-2004

Il numero di giorni tra fioritura e maturazione non rimane costante e presenta un trend in diminuzione. La cosa può essere spiegata dal fatto che i trend termici delle temperature minime e massime durante la stagione estiva, responsabili della maturazione del mais, sono più elevati di quelli del periodo primaverile responsabili della sua data di fioritura. Anche in questo caso intorno ai primi anni 90 il n° di giorni tra fioritura e maturazione si porta sotto la media del periodo individuando due sottoperiodi con una differenza di circa 10 giorni.

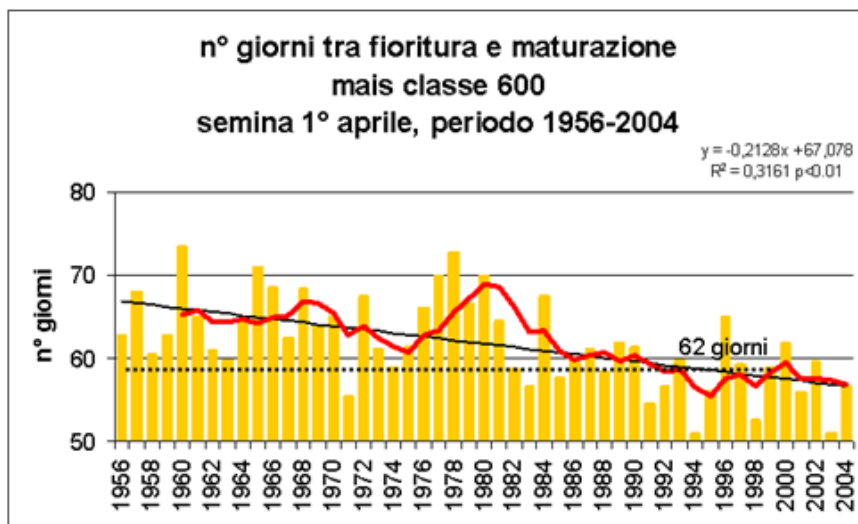


Figura 221: trend del numero di gg tra fioritura e maturazione del mais nel periodo 1956-2004

3.9.10. VITE

L'Istituto Sperimentale per la Viticoltura di Conegliano ha monitorato le fioriture di un Vigneto di Merlot e Cabernet dal 1964 al 2004. Questo tipo di dato permette di analizzare se effettivamente gli aumenti di temperatura si siano tradotti in anticipi nel raggiungimento di particolari stadi di sviluppo delle colture in campo. Nel caso del vigneto di Merlot e Cabernet di Conegliano la fioritura si è verificata mediamente l'8 giugno e dal grafico si evidenzia molto bene la tendenza all'anticipo nella data di fioritura; inoltre la media mobile permette visivamente di individuare un periodo compreso tra gli anni 70-80 in cui la fioritura "ritarda" rispetto alla media del periodo, un periodo "in media" tra il 1985 ed il 1991, ed un periodo dopo il 1991 con valori di "fioritura precoce". Si nota la data di fioritura del 2003 (28 maggio) come la più "precoce" dell'intero periodo.

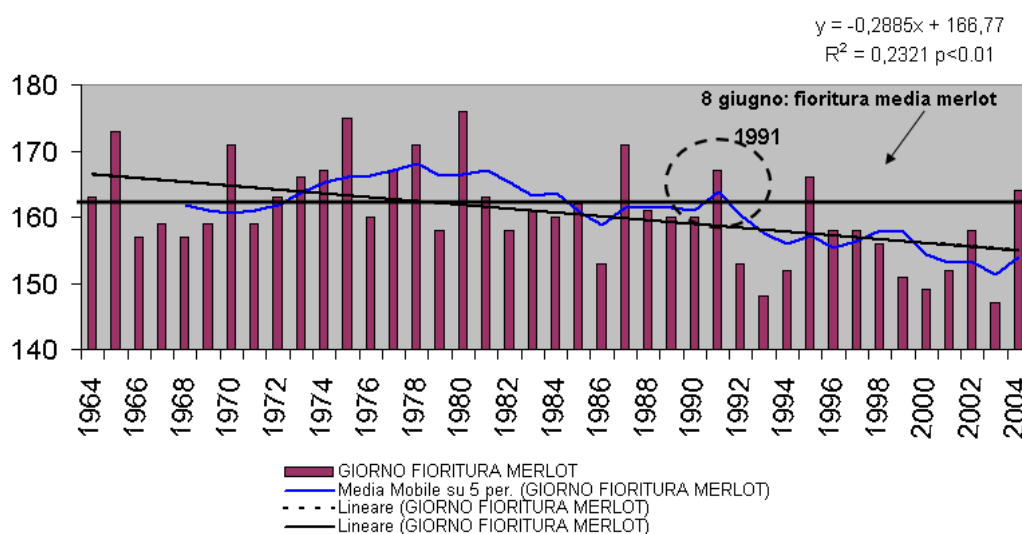


Figura 222: trend data di fioritura del Merlot a Conegliano nel periodo 1964-2004

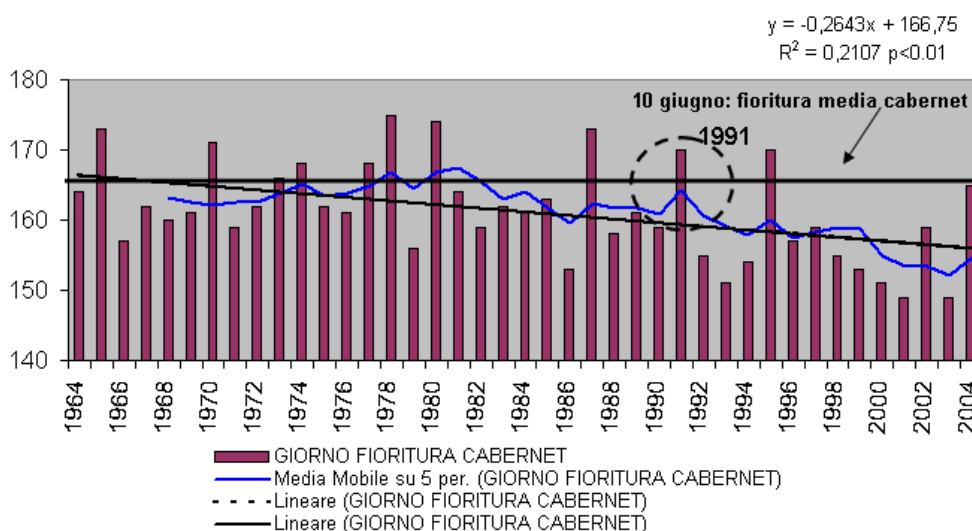


Figura 223: trend data di fioritura del Cabernet a Conegliano nel periodo 1964-2004

Anche l'analisi di discontinuità delle date di fioritura individua come break-point il 1991 e suddivide il periodo 1964-2004 in due sottoperiodi 1964-1991 e 1992-2004 con date medie di fioritura che passano dal 12-13 giugno al 4-5 giugno, con un anticipo di circa 8 giorni.

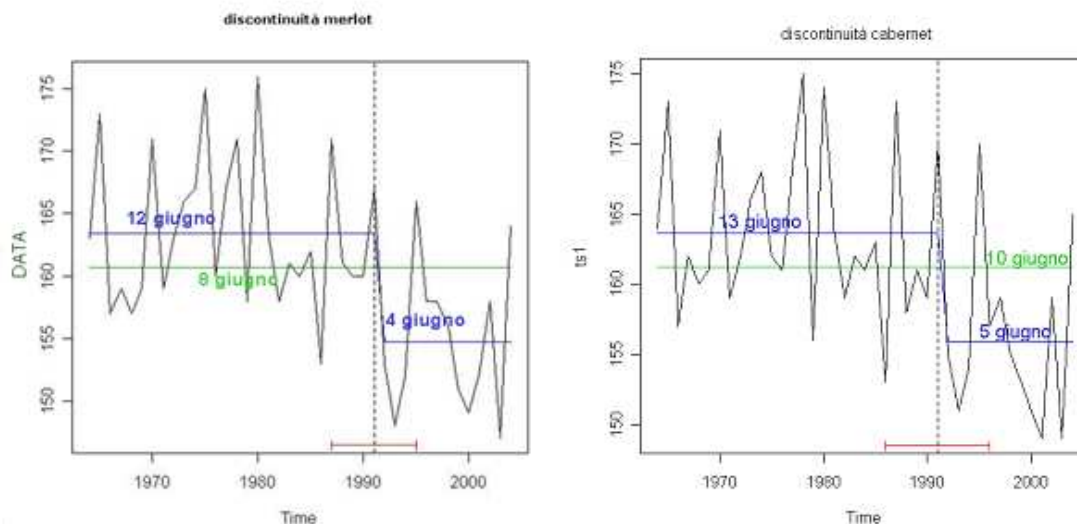


Figura 224: discontinuità della data di fioritura del Cabernet e del Merlot; Conegliano, periodo 1964-2004

E' interessante ricordare che le temperature massime primaverili presentano come anno più probabile di discontinuità il 1988 (confidenza del 90% nel periodo 1985-1991). C'è quindi una notevole vicinanza con le discontinuità, relative alle date di fioritura del Merlot e Cabernet a Conegliano, che a maggior ragione possono essere individuate come veri e propri "proxy data" del cambiamento di regime delle temperature massime primaverili.

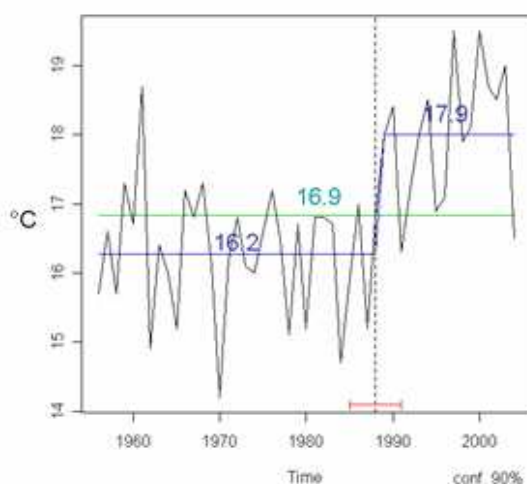


Figura 225: punto di discontinuità temperature massime primaverili nel periodo 1964-2004

Di particolare interesse è la correlazione esistente tra i dati della serie storica agroclimatica ed il proxy data fenologico della data di fioritura. A tale proposito si deve sottolineare che due serie storiche diverse indicano gli anni '90 come anni di svolta sia a livello termometrico che a livello di comportamento fenologico della vite.

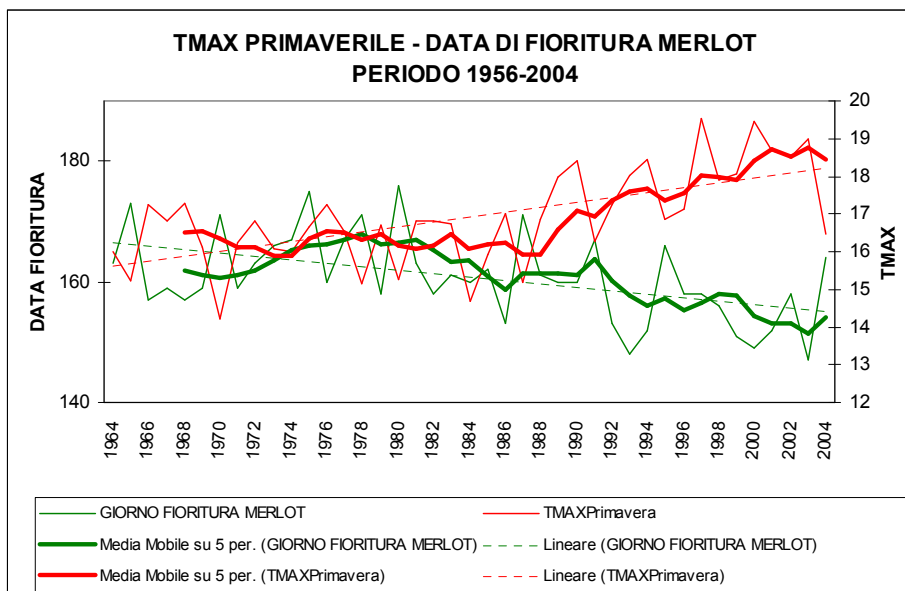


Figura 226: tmax primaverili e date di fioritura del Merlot nel periodo 1964-2004. $R^2=-0.56$ $p<0.01$

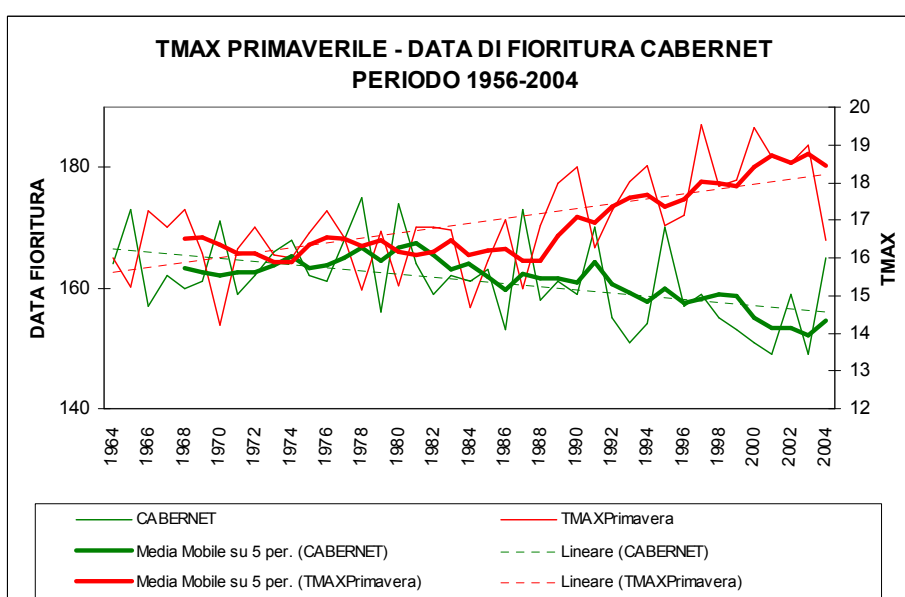


Figura 227: tmax primaverili e date di fioritura del Cabernet nel periodo 1964-2004. $R^2=-0.59$ $p<0.01$

CONCLUSIONI

Il territorio del Veneto presenta una serie di peculiarità meteorologiche che sono frutto di una vasta gamma di fattori (astronomici, geografici, circolatori, ecc.) attivi a scale che vanno dalla microscala (fattori che agiscono nel boundary layer) alla macroscala (es: grandi strutture circolatorie caratteristiche della grande circolazione atlantica come gli anticiclone subtropicali o le grandi depressioni delle latitudini medio-alte). L'azione di tali fattori, se considerata su periodi lunghi, porta alla genesi di un clima caratteristico che è possibile indagare in termini quantitativi grazie alla messe di dati oggi disponibili.

Da ciò ha preso le mosse questo lavoro di tesi che si è proposto di:

- descrivere gli elementi caratteristici della climatologia statica e dinamica del Veneto
- indagare la variabilità temporale degli elementi del clima.
- Indagare i legami esistenti fra variabili fisiche atmosferiche e variabili biologiche (fenologia di vegetali spontanei e coltivati).

La variabilità temporale è stata valutata con riferimento alle diverse variabili atmosferiche. Da tale analisi è emersa con chiarezza la presenza di un cambiamento climatico brusco (breakpoint), che ha notevolmente influenzato la climatologia della nostra regione. È importante sottolineare che i dati presentati in questa tesi sono la prima conferma sperimentale nella Regione Veneto di processi già a più riprese messi in evidenza a livello europeo e che invece alla scala di regione amministrativa sono più difficilmente evidenziabili per tutta una serie di fattori di perturbazione locali legati alla potente orografia alpina ed agli effetti mitiganti dei grandi corpi idrici (mari, lago di Garda). I risultati ottenuti sono comunque da considerare degni di un approfondimento da fondare sull'analisi di una più vasta e completa messe di serie storiche.

I risultati ottenuti mirano prioritariamente a fornire una valutazione d'insieme dei fenomeni in atto ed in tal senso l'analisi dei trend delle principali variabili climatiche quali le temperature e le precipitazioni su un periodo recente ed esteso a un cinquantennio rimane uno dei elementi più interessanti.

Sapere che a livello globale le temperature aumentano di 0.7°C in un secolo (IPCC, 2007) è infatti insufficiente per chi voglia trasformare un segnale globale in effetti percepiti a scala locale. Quantitativamente si ricorda e sottolinea che l'entità dei valori assoluti, medi e dei

trend riscontrati possa cambiare al mutare della lunghezza del periodo considerato e del numero di stazioni a disposizione. Inoltre, per alcune variabili derivate quali l'evapotraspirazione da coltura di riferimento (ET0) ed il Bilancio Idroclimatico (B.I.), si ravvisa la necessità di future calibrazioni sito-specifiche dei modelli.

Anche l'approfondimento dei **pattern “dinamici circolatori”** lontani nello spazio e nel tempo, e quindi teleconnessi, che abbiamo visto essere correlati alle variabili meteorologiche al suolo che caratterizzano la nostra regione, cerca di fornire risposte che risultano essere ovviamente complesse, in quanto è il clima stesso ad essere il risultato di migliaia di interazioni, impossibili da descrivere per il momento con un'unica equazione (*Zichichi, 1993*).

Con riferimento alle **variabili meteorologiche al suolo**, l'analisi delle serie storiche 1956-2004 delle mostra una sostanziale stazionarietà delle precipitazioni stagionali, fatta eccezione per la stagione invernale che risulta essere l'unica con un trend significativamente in diminuzione. Al contrario, le temperature manifestano un sensibile aumento che interessa tutte le stagioni, ma soprattutto l'estate e l'inverno per le temperature massime, e l'estate per le temperature minime.

Anche le variabili derivate, quali l'ET0 ed il B.I, presentano trend positivi significativi nelle stagioni primaverili-estive, in quanto influenzate in modo determinante dagli andamenti delle temperature. Queste informazioni potranno essere la base su cui sviluppare successive analisi per valutare l'adattabilità delle colture attualmente praticate alle condizioni future, l'opportunità di modificare le tecniche agronomiche attualmente impiegate e le potenzialità di introduzione e diffusione di nuove specie e varietà coltivate nell'ambiente Veneto

Il cambiamento di fase climatica, individuato con l'analisi di discontinuità (test BP di Bai e Perron (2003), ha luogo per quanto riguarda le temperature massime e minime e le sole precipitazioni invernali intorno alla fine degli anni '80. Questa analisi ci permette così di individuare i sottoperiodi e l'ultima “normale climatica” a cui fare riferimento per sviluppare scenari futuri ed assumere decisioni (strategiche strategie di adattamento) e

tattiche e in agricoltura. La fase climatica successiva alla discontinuità manifesta rispetto alla fase precedente le seguenti peculiarità:

- temperature minime annue più elevate di 0.9 °C
- temperature massime annue più elevate di 1.5 °C
- temperatura massima estiva superiore di 1.9 °C
- temperatura massima invernale superiore di 1.4 °C
- precipitazioni medie invernali inferiori di 78 mm.

Dal punto di vista territoriale emerge la situazione critica della pianura centro-meridionale (Polesine), che a seguito del punto di discontinuità manifesta una accentuazione delle condizioni di aridità con un aumento medio di 29 mm dell'evapotraspirazione da coltura di riferimento e di 56 mm del deficit idroclimatico estivo. La criticità è accentuata dal fatto che il fenomeno si verifica nell'area che mediamente a livello regionale registra i valori di evapotraspirazione e bilancio idroclimatico medi annui più sfavorevoli.

E' utile ricordare che al cambiamento di fase climatica individuato sono da attribuire anche lo scarso innevamento, la minore persistenza al suolo del manto nevoso e l'arretramento generalizzato dei ghiacciai alpini.

Altri dati regionali riferiti all'Emilia Romagna manifestano trend molto simili e punti di discontinuità identici nel caso delle temperature e quasi coincidenti nel caso delle precipitazioni. Queste evidenze rafforzano le conclusioni ottenute per il Veneto.

Accanto all'informazione di tipo regionale più sopra discussa, è importante considerare l'informazione proveniente da **proxy data fenologici** di specie spontanee e coltivate, sia a livello italiano che europeo. Anche tali dati rafforzano le conclusioni ricavate per il Veneto, evidenziando una sostanziale coincidenza dei breakpoints climatici e fenologici degli anni '80 sia a livello Italiano che europeo.

L'indagine sugli aspetti della **climatologia dinamica** ha portato ad individuare correlazioni significative tra la variabilità climatica regionale del Veneto e indici circolatori a macroscale. In particolare nel periodo 1956-2004 le fasi positive del NAO (North Atlantic

Oscillation) index, corrispondono in Veneto a diminuzioni delle precipitazioni e ad aumento delle temperature durante la stagione invernale, come del resto individuato da altri autori quali in areali Europei più vasti e in altri ambiti della Regione Alpina (*Quadrelli et al., 2001*).

L'EA (East Atlantic) pattern è significativamente correlato alle temperature durante tutto l'anno, mentre lo Scandinavian (SCAN) pattern è correlato positivamente con le precipitazioni, e negativamente con le temperature massime. L'EAWR (East Atlantic-West Russia), risulta essere correlato significativamente con le precipitazioni invernali. Anche in questo caso un lavoro realizzato in Piemonte da Ciccarelli et al. (2007) conferma in maniera sostanziale i risultati emersi in Veneto.

Alcune interessanti differenze sono però individuabili in quanto la temperatura minima invernale non è correlata nel caso Veneto al NAO index. Si potrebbe avanzare l'ipotesi che tale parametro sia pesantemente influenzato dall'alta pressione siberiana che in inverno determina in Veneto la comparsa di fenomeni come la bora e l'instaurarsi di periodi di freddo molto intensi. Questa considerazione trova conferma con l'EAWR index che in Veneto, a differenza del Piemonte, risulta essere positivamente correlato con le precipitazioni invernali soprattutto dalla fine dei già citati anni '80. Anche in questo caso l'influenza orientale invernale determinata dall'Anticiclone Russo Siberiano potrebbe spiegare la differenza tra le due regioni.

Anche sulle serie temporali degli indici circolatori sopra descritti è stata effettuata l'analisi di discontinuità, da cui è emersa la presenza di discontinuità ricadenti alla fine degli anni '80 per il NAO invernale e l'EAWR, mentre per lo SCAN e l'EA i punti di discontinuità ricadono in altri periodi. Ciò indica la necessità di approfondire l'argomento delle interazioni tra i diversi indici circolatori in modo tale da stabilire modelli in grado di legare fra loro i segnali di cambiamento di regime circolatorio evidenziati dai diversi indici, il che consentirebbe fra l'altro di disporre di strumenti di supporto alle attività di previsione stagionale estremamente utili nel settore dell'agricoltura.

Con riferimento al cruciale tema dell'**adattamento degli ecosistemi agricoli del Veneto alla variabilità climatica** è bene evidenziare che il futuro adattamento potrà passare attraverso mutamenti nelle agrotecniche e nelle specie e varietà coltivate. Esemplare in proposito è l'adozione, già in atto in questi anni, di colture meno produttive quali i cereali vernini (soprattutto frumento ed orzo), per le quali tuttavia il rischio di subire i negativi effetti di caldo e siccità estive è notevolmente minore rispetto a colture ad elevata esigenza irrigua quali il mais.

Già ora in Veneto gli agricoltori danno prova di essere entrati in una logica di adattamento; un esempio di ciò è dato dal fatto che il servizio interattivo di assistenza all'irrigazione IRRIWEB (<http://irrigation.altavia.eu/LoginARPAV.aspx>), (Bonamano et al. 2007) è oggi sempre più spesso impiegato per gestire l'irrigazione di soccorso della vite, che a sorpresa si colloca in seconda posizione dopo il mais per numero di richieste di consiglio irriguo. Tali nuovi comportamenti manifestano anche la necessità di attività di assistenza tecnica mirata alle nuove esigenze, in modo ad esempio da evitare che l'eccesso irriguo conduca a scadimenti qualitativi.

BIBLIOGRAFIA

APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, (2006). *Gli indicatori del Clima in Italia nel 2005*, Stato dell'ambiente, 10/2006, p. 9.

Ambrosetti P, Mariani L., Scioli P., (2005). *Climatology of north föhn in Canton Ticino and Western Lombardy*, Rivista Italiana di Agrometeorologia, 2, 24-30.

Ångström A., (1935). *Geografiska Annaler* 17, 242-258.

ARPAV, Agenzia Regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto -Area Tecnico-Scientifica - Osservatorio Regionale Aria, (2000). *La caratterizzazione climatica della Regione Veneto*. Quaderni per l'Ambiente Veneto.

Bai J., (1994). *Least Squares Estimation of a Shift in Linear Processes*, Journal of Time Series Analysis, 15, 453-472.

Bai J., (1997a). *Estimating Multiple Breaks One at a Time*, Econometric Theory, 13, 315-352.

Bai J., (1997b). *Estimation of a Change Point in Multiple Regression Models*, Review of Economics and Statistics, 79, 551-563.

Bai J., Perron P., (1998). *Estimating and Testing Linear Models With Multiple Structural Changes*, Econometrica, 66, 47-78.

Barnston A.G., Livezey R.E., (1987). *Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns*. Mon. Wea. Rev., 115, 1083-1126.

Barnston A.G., Livezey R.E., Halpert M.S., (1991). *Modulation of Southern Oscillation-Northern Hemisphere mid-winter climate relationships by the QBO*. Journal of Climate, 4, 203-217.

Bell G., Chelliah M., (2005). *Leading Tropical Modes Associated with Interannual and Multidecadal Fluctuations in North Atlantic Hurricane Activity*. Journal of Climate, 19, 590-612.

Beniston M., Junco P., (2002). *Shifts in the distributions of pressure, temperature and moisture and changes in the typical weather patterns in the Alpine region in response to the behavior of the North Atlantic Oscillation*. Theoretical and Applied Climatology, 71, 29–42.

Bigg G.R., Jickells T.D., Liss P.S., Osborn T.J., (2003). Review – *The role of the oceans on climate*, International Journal of Climatology, 23, 1127-1159.

Blackburn M., Hoskins B.J., (2001). *The UK record-breaking wet autumn 2000*. UGAMP Newsletter 24, 38–40.

Bonamano A., Borin M, Giannerini G., (2007). *Irrimanager un sistema di supporto alle decisioni per la gestione irrigua nel Veneto*. Atti del Convegno nazionale AIAM, "Agrometeorologia, Sostenibilità Ambientale e Desertificazione" Isola Capo Rizzuto, 29-31 maggio 2007, in Rivista Italiana di Agrometeorologia, anno 12, supplemento al n.1 pp. 86-87.

Bonini Baraldi A., (1993). *Caratterizzazione Agro-Climatologica del Territorio Veneto. Aree "5b"*. Regione del Veneto, Dipartimento per l'Agrometeorologia, 170 pp.

Borin M., Bigon E., Caprera P., (2003): *Atlante Fenologico*, Edagricole-Bologna, p. III.

Bryson R.A., (1974). *A Perspective on Climatic Change*, Science, 184, 753-60.

Chmielewski F.M., Müller A., Bruns E., (2004). *Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000*, Agric. and For. Met., 121, 69–78.

Ciccarelli N., Von Hardenberg J., Provenzale A., Ronchi C., Vargiu A., Pelosini R., (2007). *Climate Variability in North-Western Italy during the Second Half of the 20th Century*, Preprint submitted to Elsevier Science 1 June 2007, 1-25.

Cordery I., McCall M., (2000). *A model for forecasting drought from teleconnections*. Water Resources Research, 36(3), 763-768.

García-Herrera R., (2007). *Climatic data recovery for the last millennium from documentary sources*, EMS7/ECAM8 Abstracts, Vol. 4, 7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM, San Lorenzo de Escorial, 1-5 Ottobre 2007, EMS2007-A-00085.

Georgiadis T., Mariani L., (2006a). *Clima e cambiamento climatico. II. Dati osservativi, paleoclimatologia, modelli climatici, attività internazionali*, Rivista Italiana di Agrometeorologia, 2, 5-25.

Georgiadis T., Mariani L. (2006b). *Clima e cambiamento climatico. I. Profilo storico, atmosfera e clima, variabilità del clima, ruolo delle nubi*, Rivista Italiana di Agrometeorologia, 1, 4-18.

Halpert M.S., G.D. Bell, (1997). *Climate Assessment for 1996*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, S1-S49.

Houghton J., (2002). *The physics of atmospheres*, Cambridge University Press, 320 pp.

Huang J., Ji M., Higuchi K., Shabbar A., (2006). *Temporal Structures of the North Atlantic Oscillation and Its Impact on the Regional Climate Variability*, Advances in atmospheric sciences, vol. 23, no. 1, 23–32.

Hurrell J.W., (1995). *Decadal trends in the North-Atlantic Oscillation – regional temperatures and precipitation*. Science, 269, 676–679.

Huke R, (1976). *Geography and climate of rice*. Climate and rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp. 31-50.

Jones, Davis, (2000). *Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France* Am. J. Enol. Vitic., 51, N°. 3.

Koch E., Dittmann., Lipa W., Menzel A., Nekovar J., Vliet A.v., (2007). *COST725 establishing a European phenological database for climatological applications: overview and first results* EMS7/ECAM8 Abstracts, Vol. 4, 7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM, San Lorenzo de Escorial, 1-5 Ottobre 2007, EMS2007-A-00086.

Lamb H.H., (1966). *The changing climate*, Methuen, London, 236 pp.

Lamb, H.H., (1977). *Climate: Present, Past and Future*, Methuen, London, 835 pp.

Lockwood J.G., (2001). *Abrupt and sudden climatic transitions and fluctuations; a review*, Int. J. Climatol., 21, 1153-1179.

Mariani L., (2005). *Agricoltura e cambiamenti climatici. Analisi, incertezze, controversie, interdipendenze*. Atti Workshop Climagri, Facoltà di Agraria Università Politecnica delle Marche Ancona, 27-28 giugno, p. 1.

Mariani L. (2006a). *Alcuni metodi per l'analisi delle serie storiche in Agrometeorologia*. Rivista Italiana di Agrometeorologia, 2, 48-56.

Mariani L. (2006b), *Clima e prospettive di cambiamento climatico*, 21mo Secolo-Scienza e Tecnologia, 4, 2-8.

Mariani L., (2006c). *Clima ed agricoltura in Europa e nel bacino del mediterraneo dalla fine dell'ultima glaciazione*, Rivista di storia dell'agricoltura, anno XLVI, 2, 3-42.

Munn R.E., (1970). *Biometeorological methods*, Academic Press, 336 pp.

Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Stephenson D.B., (2002). *A review of Northern Hemisphere winter-time teleconnection patterns*, European Research Course on Atmospheres (ERCA), Claude Boutron, EDP Sciences, Vol. 5, 1-21.

Peixoto J.P., Oort A.H., (1992). *Physics of climate*, American Institute of Physics, New York, 520 pp.

Perini L. et al., (2004a), *Atlante Agroclimatico – Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano*. UCEA, Roma, p.IX .

Perini L. et al., (2004b). *Atlante Agroclimatico – Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano*. UCEA, Roma, p. 2.

Philander G.S., (1990). *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press, Inc., New York.

Piechota T.C., Dracup J.A., (1999). *Long-Range Streamflow Forecasting Using El Niño-Southern Oscillation Indicators*. Journal of Hydrologic Engineering, 4(2), 144-151.

Quadrelli, R., Lazzeri, M., Cacciamani, C., Tibaldi, S., (2001). *Observed winter Alpine precipitation variability and links with large-scale circulation patterns*. Climate Research 17, 275–284.

Rasmusson E.M., (1985). *El Niño and the Variations in Climate*. American Scientist, 73, 168-177.

Rial J.A., Pielke R., Beniston M., Claussen M., Canadell J., Cox P., Held H., Noblet-Ducoudré N., Prinn R., Reynolds F., Salas J., (2004). *Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the earth's climate system*. Climatic Change, 65, 11–38.

Seidel J., Lanzante R. (2003). *An assessment of three alternative to linear trends for characterizing global atmospheric temperature changes*, Journal of Geophysical Research, Vol.109, 1-10.

Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C., Ahas R., (2002). *Atmospheric mechanism governing the spatial and temporal variability of phenological phases in Central Europe*. International Journal of Climatology, 22, 1739-1755.

Sneyers R., Palmieri S., Siani A.M., (1993). *Characterising trends in climatological time series. An application to Brera observatory (Milan) rainfall series*, Proceedings of international conference on applications of time series analysis to astronomy and meteorology, Università di Padova, 6-10 settembre 1993, 321-328.

Tennekes H. (2007). *Reflections of a Climate Skeptic by Henk Tennekes*
<http://climatesci.colorado.edu/2006/01/06/guest-weblog-reflections-of-a-climate-skeptic-henk-tennekes/>

Thompson D.W.J., Wallace, J.M., (1998). *The Artic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields*, Geoph. Res. Let. 25, 1297-1300.

Thompson D.W.J., Wallace, J.M., (2000). *Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability*, Journal of Climate, 13: 1000- 1016.

Thompson, D.W.J., Wallace, J.M., Hegerl, G.C., (2000). *Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Trends*, Journal. of Climate 13, 1018-103

Toreti A., Desiato F., (2007). *Temperature trend over Italy from 1961 to 2004*, Theoretical and Applied Climatology, DOI 10.1007/s00704-006-0289-6.

Van Loon H., Rogers J.C., (1978). *The seesaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe*. Part I: General description. Mon. Wea. Rev., 106, 296–310.

Van Vliet A.J.H., Overeem A., De Groot R.S., Jacobs A.F.G., Spijksma F.T.M., (2002). *The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands*, International Journal of Climatology, 22, 1757–1767

Walker G.T., Bliss E.M., (1932). *World weather*. Mem. Roy. Meteor. Soc., 4, 53-84.

Wallace J.M., Gutzler D.S., (1981). *Teleconnections in the geopotential height 24 field during the northern hemisphere winter*. Monthly Weather Review 109, 784–812.

Werner P.C, Gerstengarbe F.W., Friedrich K., Oesterle H., (2000). *Recent climate change in the North Atlantic/European Sector*, International Journal of Climatology, Vol. 20, Issue 5, 463-471.

Wibing J., (1999). *Precipitation in Europe in relation to circulation patterns at the 500 hPa level*. International Journal of Climatology 19, 253–269.

Zeileis A., Kleiber C., Krämer W., Hornik K., (2003). *Testing and Dating of Structural Changes in Practice*, Computational Statistics and Data Analysis, 44, Issues 1-2, 109-123.

Zichichi A., (1993), *Scienza ed emergenze planetarie*, Mondadori, BUR, 316 pp.