

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA



Facoltà di SS.MM.FF.NN ed AGRARIA

Dipartimento di AGRONOMIA AMBIENTALE E PRODUZIONI
VEGETALI

Corso di Laurea Triennale in SCIENZE E TECNOLOGIE PER
L'AMBIENTE

**EVOLUZIONE DELLA PIOVOSITA' IN ALCUNI AMBIENTI
DEL VENETO NELL'ULTIMO CINQUANTENNIO**

Relatore: Prof. ANTONIO BERTI

Correlatore: Dott. ALESSANDRO CHIAUDANI

Laureanda: ANNA CHIARA MAZZUCATO
Matricola N°: 524715/TEA

ANNO ACCADEMICO 2007-2008

INDICE

INDICE	pag. 1
CAPITOLO 1. INTRODUZIONE	pag. 3
Paragrafo 1.1 Cambiamenti climatici a livello globale	pag. 3
Paragrafo 1.2 Il clima, la statistica e rilevazione dati a livello nazionale	pag. 9
Paragrafo 1.3 Scopo della tesi	pag. 11
Paragrafo 1.4 Il Centro Meteorologico di Teolo	pag. 12
CAPITOLO 2. MATERIALI E METODI	pag. 15
CAPITOLO 3. ANALISI DATI	pag. 17
CAPITOLO 4. RISULTATI	pag. 19
Paragrafo 4.1 Relazione tra dati automatici e dati meccanici	pag. 19
Paragrafo 4.2 Evoluzione della piovosità nel periodo 1956 – 2004	pag. 22
CAPITOLO 5. CONCLUSIONI	pag. 35
CAPITOLO 6. BIBLIOGRAFIA	pag. 37

INTRODUZIONE

1.1) Cambiamenti climatici a livello globale

L'uomo ha la necessità di utilizzare i combustibili fossili¹, come risorsa energetica, per garantire la crescita economica dei Paesi sviluppati e di quelli in via di sviluppo.

Quest'attività e altre azioni antropiche hanno provocato una progressiva concentrazione di gas ad effetto serra nell'atmosfera; ovvero CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HCFC, CFC, HFC e PFC.

L'autorevole Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)², attraverso il suo rapporto: "*Climate Change 2007*", conferma che al giorno d'oggi sale al 90% la stima dell'incidenza del fattore antropico sull'aumento dei gas serra atmosferici.

Come prima conseguenza a questo fenomeno si è registrato un incremento globale della temperatura media dell'aria.

Secondo una stima media delle Nazioni Unite, la popolazione mondiale nel 2050 potrà raggiungere i 9 miliardi. La richiesta di energia è quindi destinata a crescere. L'aumento avviene in maniera più che proporzionale perché quei Paesi che ora sono in via di sviluppo utilizzeranno un quantitativo di energia paragonabile a quello oggi usato dai Paesi sviluppati. I combustibili fossili sono presenti in quantitativi limitati. Ci si sta orientando all'uso di fonti di energia alternativa pulite e rinnovabili per la salvaguardia dell'Ambiente. E' un impegno da assumere nei confronti delle generazioni future.

1.1.1 Evidenze del fenomeno

Le emissioni di CO₂ in atmosfera sono passate da un valore di 20,4 miliardi di tonnellate/anno nel 2000, fino a 26,8 miliardi di tonnellate/anno nel 2005.

La capacità di assorbimento di CO₂ da parte degli oceani e degli ecosistemi vegetali terrestri mostra, negli ultimi anni, una brusca diminuzione.

¹ Gas, carbone e petrolio

² L'IPCC è un organismo, istituito dalle Nazioni Unite nel 1988, con il compito di produrre, valutare e presentare agli organi decisori, conoscenze riguardanti i cambiamenti climatici.

Negli ultimi 30 anni, il tasso medio di incremento di CO₂ in atmosfera ha raggiunto un valore di 12 miliardi di tonnellate/anno. Negli ultimi 5 anni questa velocità ha eguagliato un valore di 15 miliardi di tonnellate/anno, il più alto negli

ultimi 20.000 anni. L'attuale concentrazione di CO₂ in atmosfera è la più alta fra quelle che si sono avute negli ultimi 650.000 anni. Il 70% circa dell'aumento della concentrazione di è causato dalla combustione di fonti fossili di energia mentre il rimanente 30% è dovuto all'agricoltura, alla deforestazione e all'uso del suolo. Anche per CH₄, N₂O, SF₆ e inoltre per HCFC, HFC e PFC, utilizzati in sostituzione dei CFC, le concentrazioni atmosferiche sono incrementate in modo significativo negli ultimi anni.

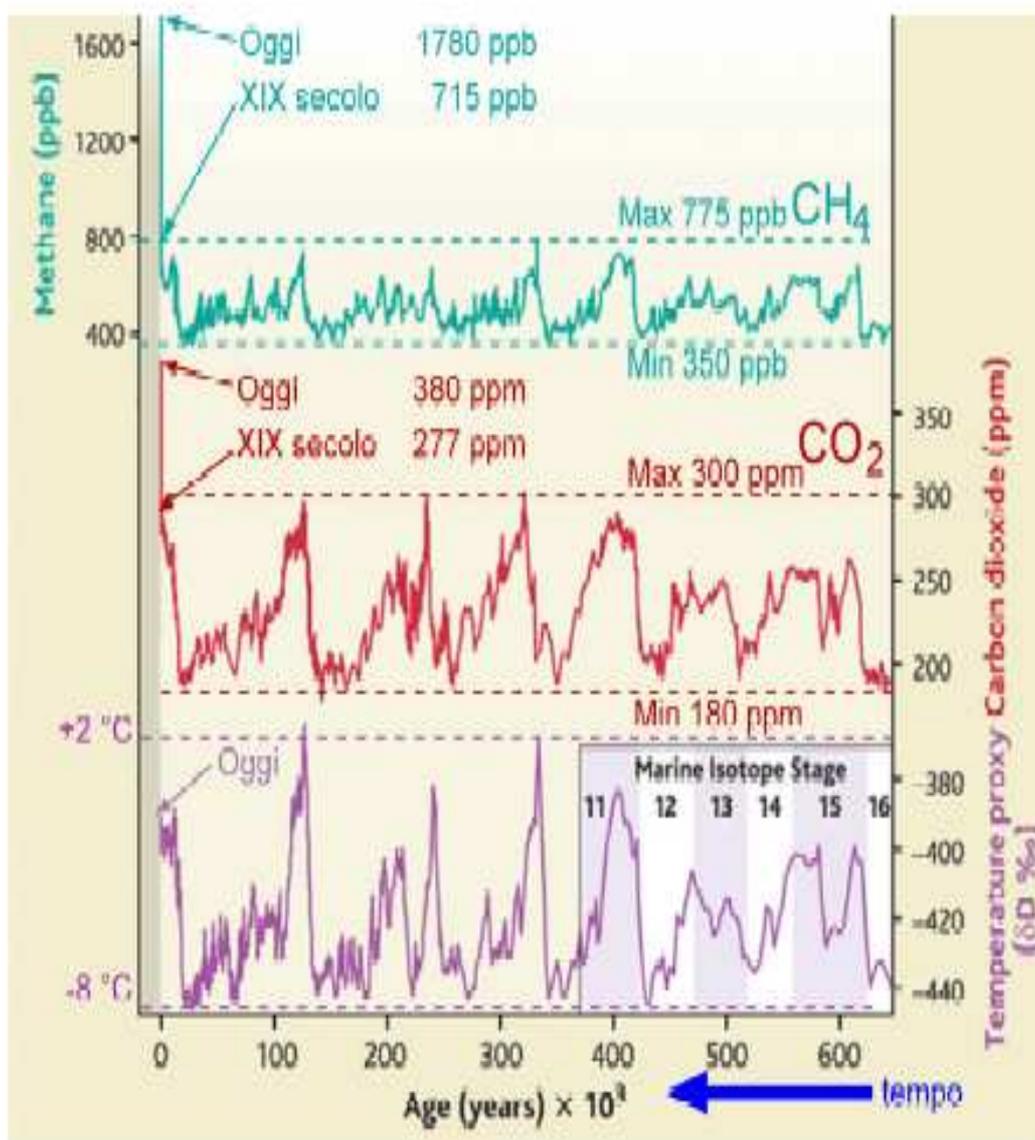


FIG 1: Andamento di gas climalteranti e della temperatura media globale in atmosfera negli ultimi 650.000 anni

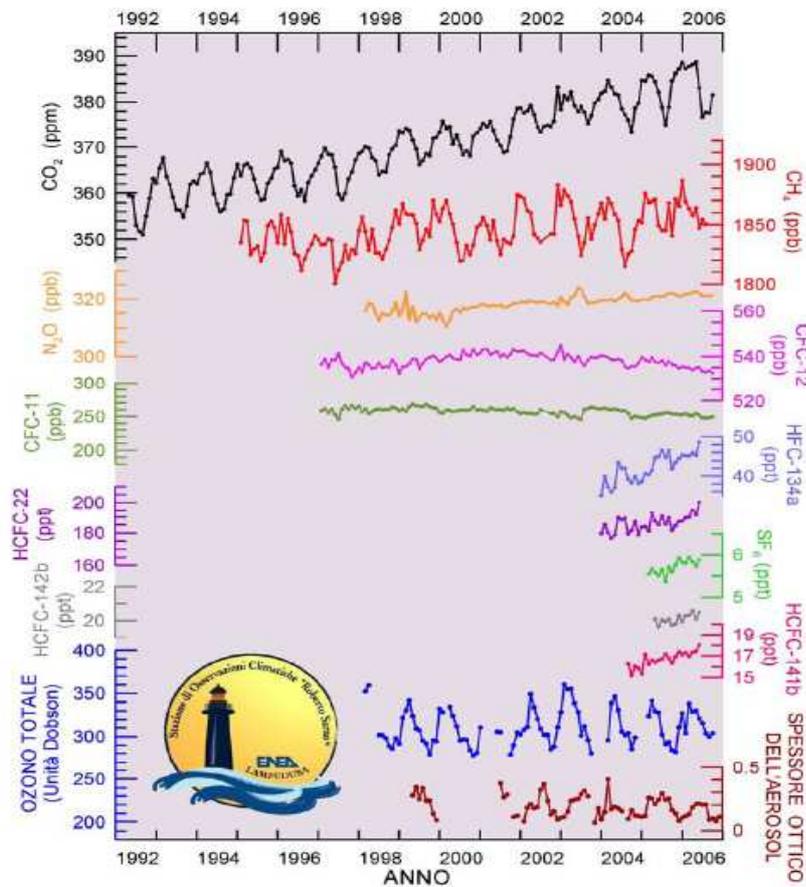


FIG 2: Andamento della concentrazione dei gas climalteranti dal 1992 al 2006

Dalla figura 2 emerge che la concentrazione dei CFC è a poco a poco diminuita grazie al protocollo di Montreal (1985) che impone una riduzione nell'emissione di questi gas in quanto distruggono l'ozono stratosferico.

1.1.2 Cambiamenti climatici e conseguenze, sulla base dei recenti dati dell'IPCC

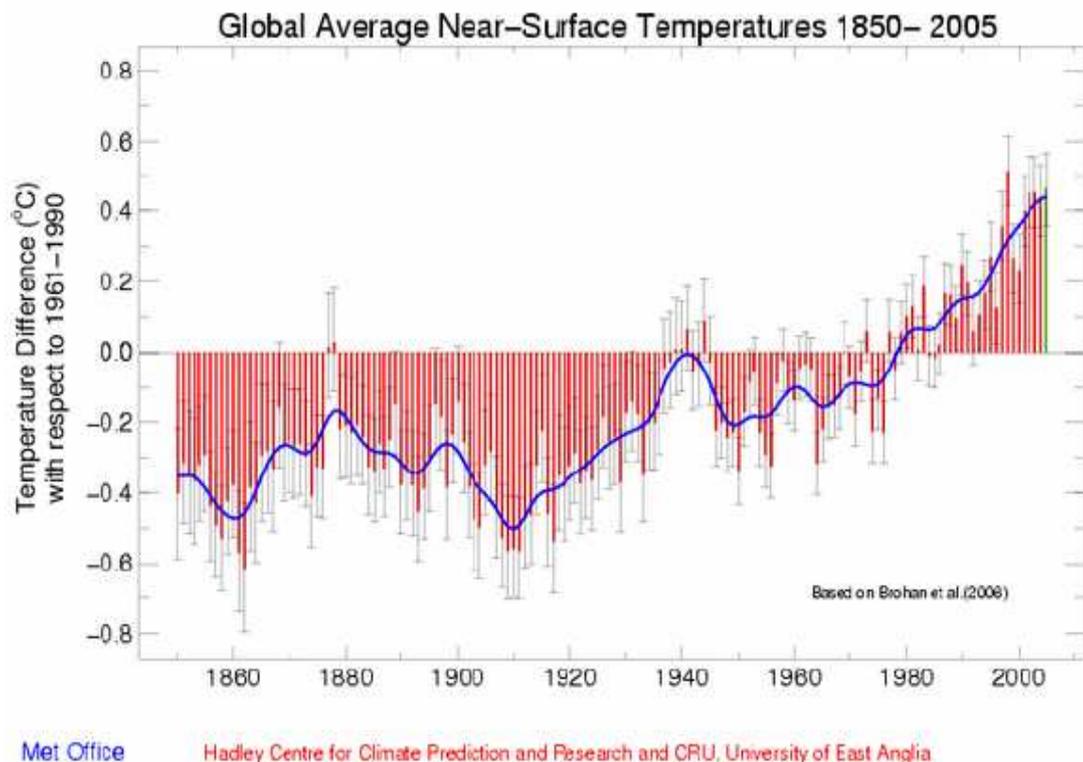
La NOAA³, la NASA⁴ e l'ufficio meteorologico dell'Inghilterra hanno registrato una crescita della temperatura media globale di 0,65°C nell'ultimo secolo. Negli ultimi 30

³ NOAA sta per National Oceanic and Atmospheric Administration. Si tratta di un'istituzione statunitense, nata nel 1970, le cui ricerche sono volte a mantenere informati i cittadini riguardo cambiamenti dell'Ambiente.

⁴ NASA sta per National Aeronautics and Space Administration. L'istituzione, nata nel 1958, subentrata al preesistente NACA, si occupa, oltre che di ricerche di interesse aeronautico, anche di attività astronautiche.

anni (1976 – 2005) il tasso di incremento è arrivato a 1,7°C per secolo. I 10 anni più miti si sono verificati a partire dagli anni '90. L'aumento di temperatura è avvenuto principalmente in corrispondenza delle terre emerse, nell'emisfero nord, in inverno e in primavera. Molto probabilmente le temperature degli ultimi 50 anni sono state le più alte degli ultimi 2000 anni.

Fig 3: Incremento della temperatura media annuale globale, dal 1850 al 2005, calcolata come differenza rispetto al periodo 1961-1990.



Negli ultimi 40 anni, alle medie latitudini dell'emisfero nord, è scomparsa una superficie, ricoperta da neve e ghiaccio, pari a circa il 5% della superficie ghiacciata preesistente. Il maggiore ritiro è avvenuto nei mesi di novembre e dicembre. I ghiacciai dell'Antartide, dell'Alaska e della Groenlandia stanno subendo una contrazione a velocità notevoli mentre quelli dell'Artide stanno scomparendo a ritmi maggiori: 2,7% per decennio, ma con punte, durante il periodo estivo, del 7,4% per decennio. Nell'emisfero boreale, la superficie ricoperta da permafrost⁵ si è ridotta del 7% negli ultimi 50 anni.

⁵ La parola permafrost sta a significare terreno ghiacciato. Questo suolo si trova per due anni consecutivi con una temperatura media annua inferiore a 0°C. Di conseguenza, l'acqua interstiziale, essendo ghiacciata, funziona come elemento collante.

Il livello del mare è aumentato in media da 10 a 25 cm nel secolo scorso, con un tasso medio pari a 1,8 mm/anno. A partire dal 1993 questa velocità è cresciuta fino a raggiungere un valore di 3,1 mm/anno. L'elevazione del livello del mare è dovuta al fatto che con l'incremento della temperatura il volume degli oceani aumenta. La fusione dei ghiacci contribuisce per circa il 43% all'innalzamento del livello marino.

A livello globale, è più difficile valutare gli effetti sulla piovosità che sulla temperatura. Questo perché essi dipendono da che regione si sta considerando e anche perché non c'è una rete, approfondita e uniformemente distribuita sul globo, per la misura delle precipitazioni.

Comunque, a livello globale, si è riusciti ad osservare un aumento delle precipitazioni dell'1% nel 20° secolo e anche però che, nelle ultime due decadi, le precipitazioni su terra sono diminuite sostanzialmente. Come si può vedere dalla figura 4, un'enorme quantità di precipitazioni annuali interessa le terre che vanno dalle foreste tropicali ai deserti aridi, regioni più calde del mondo. La stessa cosa si può dire per gli oceani tropicali. Nei climi più freddi la piovosità è generalmente più bassa. Aumenti regionali sono stati registrati alle alte latitudini continentali dell'emisfero nord e più recentemente una piovosità decrescente è stata osservata su parti dell'emisfero nord subtropicale. L'Europa Meridionale ricade in quest'ultimo areale e lo scenario di piovosità nel Veneto segue quello Europeo.

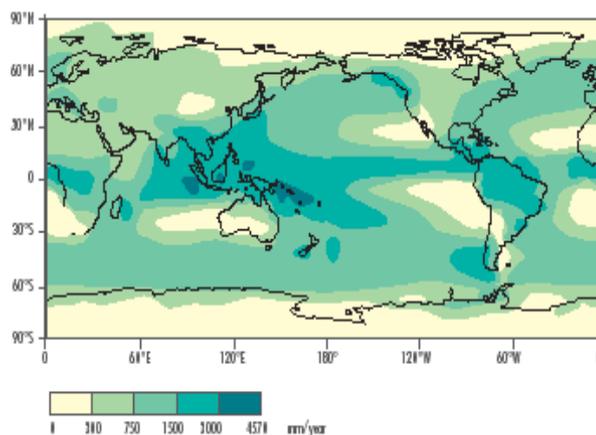


Fig 4: Distribuzione piovosità annuale dal 1961 al 1990

Per quanto riguarda gli effetti dei mutamenti climatici sul comparto agricolo, è da segnalare che con l'aumento del livello del mare ci saranno molte aree, potenzialmente utilizzabili per la produzione, suscettibili a inondazioni. Nel sud Europa la desertificazione, provocata dalla eccessiva perdita d'acqua dal suolo per evapotraspirazione, causa un'improduttività di molti terreni destinati all'agricoltura. Nella stessa area è previsto un calo delle perdite compreso tra il 1,9% e il 2,4% circa a causa di eventi estremi più frequenti, come precipitazioni intense e ondate di calore, durante il ciclo di coltivazione.

L'economista inglese Nicholas Stern afferma che un valore compreso tra circa il 5% e il 20% del prodotto interno lordo mondiale annuo, dovrà essere speso per rimediare alle problematiche provocate dal riscaldamento climatico. Egli afferma che se però si interviene tempestivamente, attuando una riduzione delle emissioni, la spesa si abbasserà a un valore che non supera l'1% del PIL mondiale annuo.

1.1.3 Il protocollo di Kyoto (1997)

Il protocollo di Kyoto, nel tentativo di risolvere il problema del riscaldamento globale, afferma che tutti i Paesi industrializzati devono ridurre le emissioni dei gas serra del 5,2% in riferimento ai valori del 1990.

In particolare si definisce quanto sarà la riduzione per un dato Paese industrializzato (ad esempio l'Unione Europea dovrà ridurre le emissioni del 8% e l'Italia del 6,5%). Nel nostro Paese le emissioni, invece di diminuire, sono aumentate del 13%, portando a circa il 20% la riduzione che deve compiersi in riferimento al 1990.

Fino ad ora si è parlato degli effetti sul clima da parte dell'azione umana. In realtà ci sono anche fattori naturali che modificano il clima. Essi sono: cambiamenti nella forma dell'orbita terrestre, variazioni nell'inclinazione dell'asse della Terra e modificazioni nel grado di attività solare.

Ci si è di più concentrati su cause antropiche perché i loro effetti sono maggiormente inquietanti ma anche perché esse possono essere minimizzate grazie alla presa di coscienza e alla forza di volontà.

1.2) Il clima, la statistica e rilevazione dei dati meteorologici a livello nazionale

Risulta opportuno fornire una precisa definizione di tempo e di clima. Il tempo esprime il valore assunto dai parametri fisici ambientali (pioggia, nuvolosità, temperatura ecc.), misurati in superficie o in quota in una località, in un certo intervallo temporale relativamente breve. Il tempo è una realtà fisica direttamente osservabile e misurabile.

Per clima si intende una sintesi della frequenza con cui compaiono tutti i valori del tempo, compresi quelli estremi, in un arco di tempo di 30 anni in una precisa località.

Ecco quindi che per definire un preciso clima si ha bisogno della statistica. La statistica è infatti una disciplina che permette di ricavare delle informazioni riassuntive riguardo un'intera popolazione di dati anche quando si ha un'impossibilità, legata al tempo e/o alle risorse, di reperirli tutti.

Abbiamo 4 tipi differenti di clima: il macroclima, il mesoclima, il clima locale e il microclima. Il macroclima descrive il clima di una zona ampia come ad esempio la pianura Padana; il mesoclima dà delle informazioni sul clima di una zona di medie dimensioni; il clima locale descrive la distribuzione verticale di temperatura, pressione ed umidità negli strati vicini al suolo mentre il microclima fa un'analisi orizzontale sulla distribuzione delle stesse variabili.

Il clima è una realtà statistica definita nello spazio ma indeterminata nel tempo.

La climatologia è una scienza che si occupa della definizione di clima e dei cambiamenti climatici che avvengono nel corso del tempo. Questa disciplina ha bisogno di dati riguardanti il tempo meteorologico per raggiungere i propri scopi e per capire se le tendenze climatiche locali coincidono con quelle globali.

Nel nostro Paese ci sono molte serie storiche di valori di tempo meteorologico reperiti da enti pubblici e privati, nazionali e regionali.

Si tratta sostanzialmente di dati raccolti da:

✂ ARPA (nelle diverse Regioni)

✂ Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale i cui valori raccolti sono stati poi affidati alle Regioni. Il loro recupero (completato in alcune Regioni ma in altre non ancora) prevede la digitalizzazione (dagli originari supporti cartacei) e la validazione con moderne metodologie per infine fare studi su di essi.

La loro rete di stazioni è la più densa fra quelle disponibili in Italia ed è presente da molto tempo. I data-set sono costituiti da dati giornalieri di precipitazione cumulata e di temperatura

massima e minima per periodi diversi da stazione a stazione che comunque possono estendersi dal 1920 ai giorni nostri.

✂ UCEA (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria), del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, che ha il compito di studiare le ripercussioni dei fenomeni meteorologici sulle colture agricole.

✂ Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici.

✂ Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare del Ministero della Difesa. Le sue indagini meteorologiche sono un'esigenza per la navigazione e per le previsioni del tempo.

✂ ISTAT

✂ Reti di rilevazione a limitata densità, presenti dal dopoguerra, nate per lo scopo di migliorare la produzione aiutandosi attraverso lo studio dei fenomeni meteorologici. Le stazioni sono di proprietà di: Istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituti Universitari, Istituti Sperimentali del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Consorzi ed Enti vari di bonifica, Assessorati alle Regioni, Camere di Commercio, del Centro Internazionale Alti Studi Agronomici, della Cassa per il Mezzogiorno, dell'ENEL, dell'ENEA, dell'ANAS, della RAI e dei privati.

Purtroppo le enormi serie di dati, fornite dai diversi enti sopraindicati, sono tra loro eterogenee per tipologia di strumentazione utilizzata, tipo e numero dei parametri rilevati, garanzia di corretta installazione e gestione delle stazioni, per la loro effettiva disponibilità, per presenza di informazioni su gestione e ubicazione delle stazioni.

Di conseguenza, qualora si voglia intraprendere uno studio sui cambiamenti climatici, bisogna rendere omogenee queste serie di dati.

Se si ha a disposizione una serie di dati presa con strumentazione meccanica e un'altra, riguardante lo stesso parametro, rilevata con nuova strumentazione automatica a partire da un tempo più recente, risulta necessario fare delle correzioni sull'insieme di dati che si estende fino al tempo in cui è avvenuta la sostituzione strumentale, in modo tale da avere un'unica serie di dati estesa ed omogenea sulla quale analizzare l'evoluzione del clima. Tale correzione la si deve

fare nel caso sussista una notevole differenza tra i due insiemi di dati rilevati nello stesso intervallo temporale.

1.3) Scopo della tesi

Scopo di questa tesi è l'analisi delle serie storiche di precipitazione detenute dal Centro Meteorologico di Teolo. Esse si riferiscono ad alcune località del Veneto e derivano sia da

rilevazioni storiche effettuate con strumentazioni meccaniche nelle reti di stazioni ora dismesse del Magistrato alle Acque e dell'Aeronautica Militare, sia dalle stazioni automatiche della nuova rete ARPAV.

Più specificamente, la tesi si propone di:

- 1) comparare le misurazioni effettuate con differenti tipi di strumentazioni (meccaniche o automatiche);
- 2) ottenere delle serie storiche dell'andamento della piovosità nell'ultimo cinquantennio;
- 3) effettuare un'analisi di discontinuità sulle serie storiche per evidenziare eventuali variazioni nel pattern di piovosità annuale e stagionale.

1.4) Il Centro Meteorologico di Teolo

1.4.1 La struttura

L'A.R.P.A.V (Azienda Regionale per la Protezione dell'Ambiente, Veneto) ha istituito il Centro Meteorologico di Teolo, in provincia di Padova sui Colli Euganei.

Il Centro Meteorologico di Teolo (CMT) ha il compito di monitorare i fenomeni ambientali.

Il CMT, grazie a tutti quanti i dati raccolti nel territorio regionale, offre il servizio meteorologico, quello agrometeorologico e quello idrologico. Per garantire quest'attività il CMT si avvale di un Servizio Rete di Telemisura, di un Centro per l'Elaborazione dei Dati e di un ufficio Regionale di supporto sito a Rovigo.

1.4.2 Il Servizio Meteorologico

Il servizio offre uno studio, un controllo e una previsione a breve-medio termine dei fenomeni atmosferici in scala regionale e locale.

1.4.3 Il Servizio Agrometeorologico

Il Servizio Agrometeorologico, attraverso tutti i dati reperiti nel territorio, offre un'acquisizione, un'elaborazione e una diffusione di informazioni agrometeorologiche aventi lo scopo di indirizzare le attività agricole verso un contenimento dei costi di produzione e verso la salvaguardia dell'Ambiente.

A questo fine vengono diffusi i bollettini agrometeorologici che hanno il compito di indicare quali sono gli interventi colturali (difesa fitopatologia, concimazione, diserbo ecc..) idonei in funzione dell'andamento meteorologico, al tipo di terreni e al rischio fitopatologico. I bollettini hanno la funzione di attuare una corretta gestione della risorsa idrica, degli imput chimici e di limitare le sorgenti inquinanti agricole di origine diffusa.

Ci sono due tipi di bollettini agrometeorologici: un bollettino provinciale, tri-settimanale, visualizzabile sul sito-web (www.arpa.veneto.it/agrometeo.htm) e diffuso dai diversi media; e il bollettino “ Agrometeo...informa”, bi-settimanale, redatto per 25 zone sparse sul Veneto, visualizzabile sul sito web e distribuito in richiesta per fax o per posta.

I bollettini sono a disposizione di Aziende, Tecnici ed Enti operanti in agricoltura.

Gli utenti che hanno usufruito del bollettino “Agrometeo..informa” sono aumentati del 70% nel 2002, del 30% nel 2003, del 40% nel 2004 e del 20% nel 2005.

La stragrande maggioranza di utenti è rappresentata da aziende agricole. Non mancano associazioni di tecnici agricoli, i tecnici dell'industria agricola, le cooperative agricole e i commercianti di prodotti agricoli. Anche Comuni e altri enti pubblici fanno uso del bollettino “ Agrometeo...informa”. Essi, attraverso i loro canali, divulgano le informazioni sul territorio di competenza.

Il servizio è realizzato in collaborazione con la Direzione Fitosanitaria Regionale, Università, Strutture tecniche di sostegno, Associazioni di categoria, Coperative e Consorzi.

1.4.4 Il Servizio Idrologico

Esso ha la funzione di garantire il monitoraggio della risorsa idrica per una corretta gestione del territorio e dei corsi d'acqua, attraverso la registrazione del livello idrometrico dei fiumi. E' disponibile un servizio di informazione idrometeorologica di base come sostegno a momenti operativi e preventivi.

1.4.5 Il Servizio Rete di Telemisura

Il sistema di raccolta dati è costituito da una rete con circa 200 stazioni automatiche che coprono l'intero territorio regionale. Le stazioni sono collegate, via radio e in tempo reale, al CMT.

La Rete di Telemisura è anche utilizzata dall'Ufficio di Idrologia Applicata di Belluno per il monitoraggio quantitativo delle risorse idriche.

Vi sono tre diverse tipologie di stazioni: meteorologiche, agrometeorologiche e idrometriche, ognuna caratterizzata da un preciso sensore. Vi sono anche stazioni idrometeorologiche.

Il servizio comprende oltre che le operazioni di acquisizione dati anche quelle di validazione e archiviazione.



FIG 5: Da sinistra verso destra: stazione idrologica, stazione agrometeorologica e stazione meteorologica.

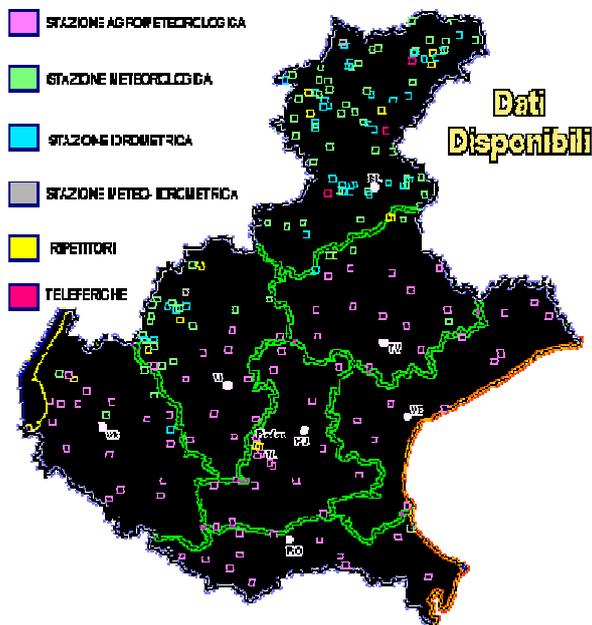


FIG 6: Diffusione della rete di telemisura

1.4.6 Il Centro di Elaborazione Dati

I dati del territorio, acquisiti grazie al Servizio Rete di Telemisura, vengono trattati da un Centro di Elaborazione Dati costituito da software e personal computer con relative periferiche.

L'elaborazione dati consiste nel fare delle operazioni su di essi e nella loro diffusione.

MATERIALI E METODI

I dati di piovosità giornaliera, espressi in mm, sono stati reperiti dalle stazioni meteorologiche del CMT localizzate nei quattro luoghi considerati.

Questi sono dati raccolti attraverso strumentazioni automatiche che hanno cominciato la loro attività a partire dal 1992.

Inoltre, per ciascuno dei quattro luoghi, vi sono dati di piovosità giornaliera, sempre espressi in mm, che sono stati raccolti dal 1956 grazie a strumentazioni meccaniche ora non più esistenti. Le relative stazioni, a Legnaro Rovigo e Portogruaro, erano di competenza del Magistrato alle Acque mentre a Vicenza esse facevano capo all'Aeronautica Militare. Altre stazioni meccaniche, a suo tempo distribuite nel restante territorio regionale ma attualmente smantellate, facevano sempre capo ai due enti suddetti e anche a Consorzi di Bonifica.

Quindi, per ognuna delle quattro località, vi sono due serie di dati: una, dal 1992 al 2004, raccolta attraverso strumentazione di tipo elettronico, l'altra, dal 1956 al 2004, rilevata con strumentazioni meccaniche. Per ognuna delle quattro zone di studio, le due stazioni, caratterizzate da strumentazione differente, per vari motivi, non sono adiacenti ma tra di loro esiste una sensibile distanza. E' stata riportata, a fine capitolo, una tabella in cui sono presenti le informazioni riguardanti tutte le stazioni considerate. Non è stata fatta, per ogni località, una completa distinzione tra centralina meccanica e quella automatica perché comunque le due appartengono allo stesso bacino. La misurazione della quantità di precipitazione avviene attraverso i pluviometri. Un pluviometro è costituito da una base in metallo sulla quale è localizzata una vaschetta oscillante tarata. Un cono di raccolta della pioggia convoglia l'acqua piovana nella vaschetta e questa, una volta raggiunto un peso stabilito, ruota scaricando l'acqua. La misura della quantità di pioggia si basa sul conteggio del numero di svuotamenti della vaschetta.

LOCALITÀ	PROV.	BACINO	QUOTA	ALT.	LONG.			INIZIO RILEVAZIONE	ANNI RILEVATI	ANNO
LEGNARO	PD	PIANURA TRA ADIGE E BRENTA	0	5° 21'	1° 58'	731320	025785	M:1956 A:1992	8	4 1
PORTO GRUARO	VE	PIANURA TRA TAGLIAMENTO E		5° 47'	2° 50'	798002	075223	M:1956 A:	8	4 1

		PIAVE						1992	2	
A	VICENZ	BACCHIG LIONE	3	5°35'	1°31'	696285	050754	6	M:195 A: 1992	4 8 1 2
O	ROVIG	PIANURA TRA ADIGE E PO		5° 04'	1° 47'	717758	995166	6	M:195 A: 1992	4 8 1 2

TAB 1: Principali informazioni sulle stazioni. A = stazioni automatiche; M = stazioni meccaniche.



FIG 7 : Le quattro località di studio

RISULTATI

4.1) *Relazione tra dati automatici e dati meccanici*

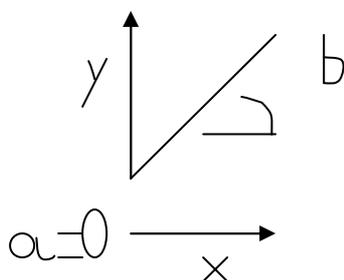
Per ogni differente località, l'analisi di regressione lineare ha permesso di trovare una relazione di tipo $y = a + bx$ (rappresentante una retta) che meglio approssima il legame esistente tra la variabile dipendente (serie decadica automatica) e la variabile indipendente (serie decadica meccanica).

In caso di coincidenza perfetta tra le due misure, ci si attende una pendenza della retta pari a 1 e un'intercetta all'origine pari a 0 (Fig. 8).

Nella tabella 2 sono elencati i principali parametri trovati per ogni retta. Lì si vede che tutti i valori di b sono di poco inferiori a 1 mentre quelli di a sono vicini a 0. A causa dell'elevato numero di punti, comunque, le sia pur piccole differenze tra i parametri stimati e quelli attesi risultano significative. E' comunque evidente la buona linearità della relazione tra i due tipi di misure in tutto il campo dei valori osservati (Fig. 9). Per valutare l'entità degli scarti tra i due tipi di misure si è quindi calcolato lo scarto medio assoluto per coppie di misure. I valori medi e gli intervalli fiduciali sono riportati in Fig 10. Come si può notare, lo scarto medio è sempre inferiore a 1 mm e l'intervallo fiduciale a $p=0.05$ comprende il valore 0. Nel complesso, quindi, le deviazioni tra le misure dei due set di strumenti sono da ritenere trascurabili. In effetti, variazioni della misura di piovosità entro il millimetro si possono rilevare anche per evaporazione di parte dell'acqua intercettata o per condensazione di piccole quantità di vapore all'interno del pluviometro. Le variazioni osservate tra i due tipi di strumenti vanno quindi ritenute trascurabili.

Non abbiamo nessuna necessità di fare delle modifiche sui dati che vanno dal 1956 al 1992. Possiamo usare le serie di dati meccanici per fare ragionamenti su i mutamenti climatici in atto.

Fig 8: Retta con coefficiente angolare unitario e passante per l'origine degli assi



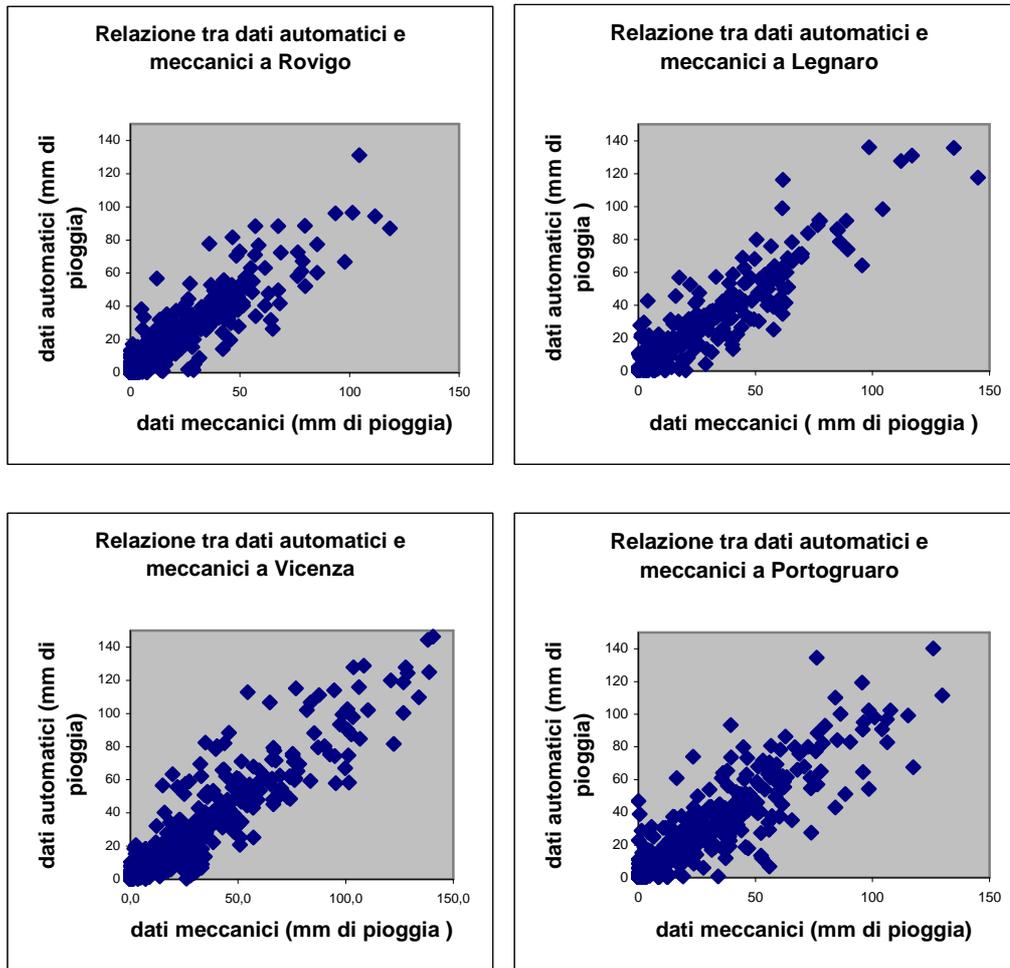


Fig 9: Relazione tra le due serie di dati nelle quattro località

STAZIONE	PARAMETRO	a	b	R^2	F	Piovosità meccanica Media annua (mm)
Legnaro	piovosità (mm)	1,14	0,99	0,89	3613,72	829
Rovigo	piovosità (mm)	2,08	0,92	0,82	2088,00	687
Vicenza	piovosità (mm)	2,08	0,90	0,87	3030,42	1125
Portogruaro	piovosità (mm)	2,26	0,94	0,84	2452,91	1057

Tab 2 : Principali parametri delle regressioni tra le misure delle stazioni meccaniche ed automatiche nel periodo di affiancamento.

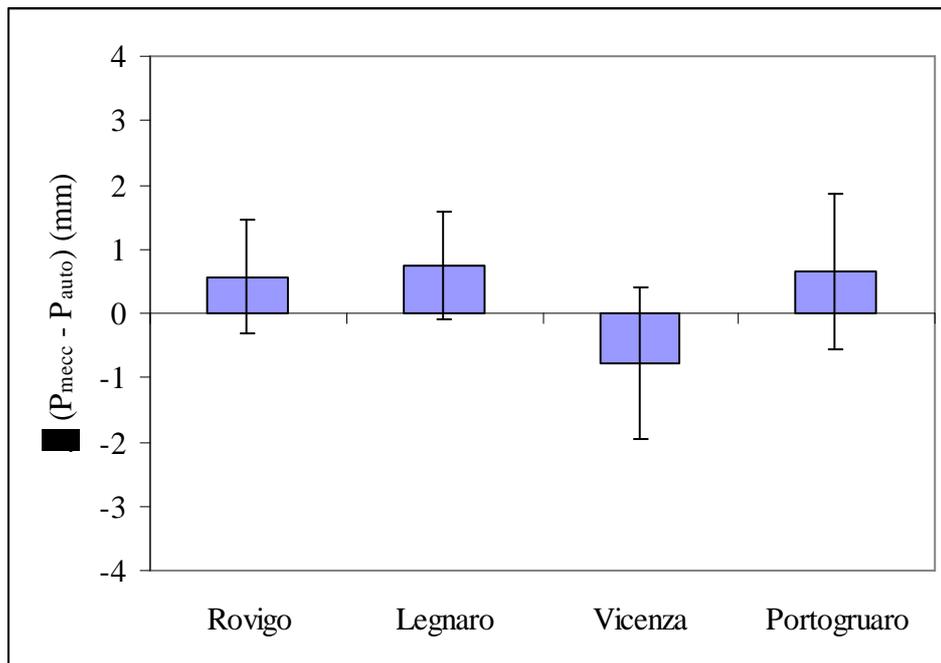


Fig 10: Scarto medio assoluto per coppie composte da misura automatica e meccanica, nelle quattro località considerate. Le quattro astine verticali rappresentano l'intervallo fiduciale in cui abbiamo il 95% di probabilità che ricada lo scarto medio assoluto dell'intera popolazione di coppie di misure di quella data località.

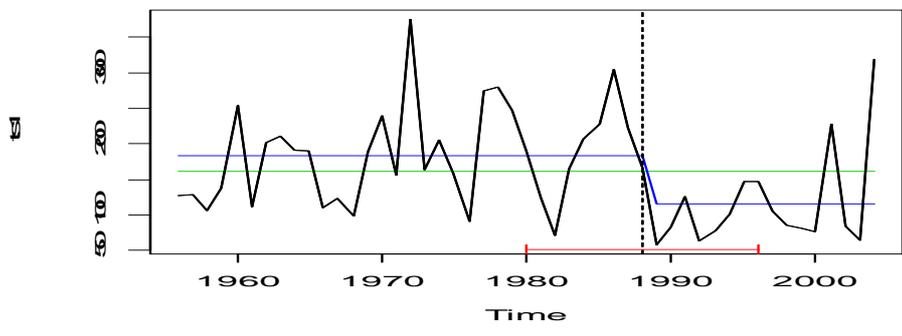
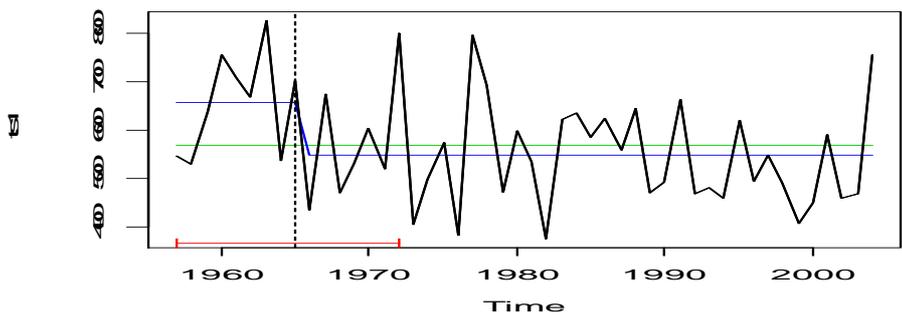
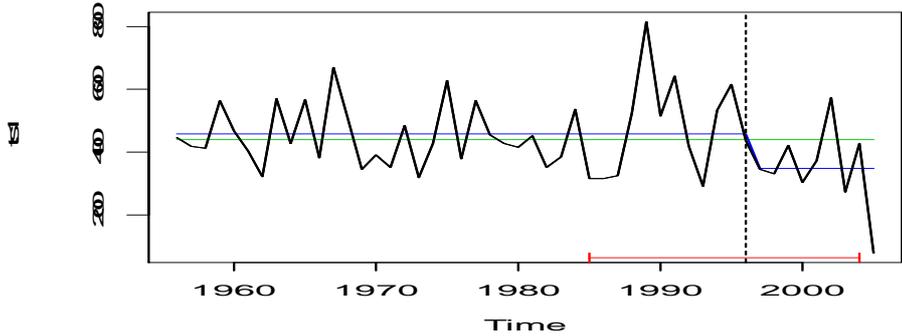
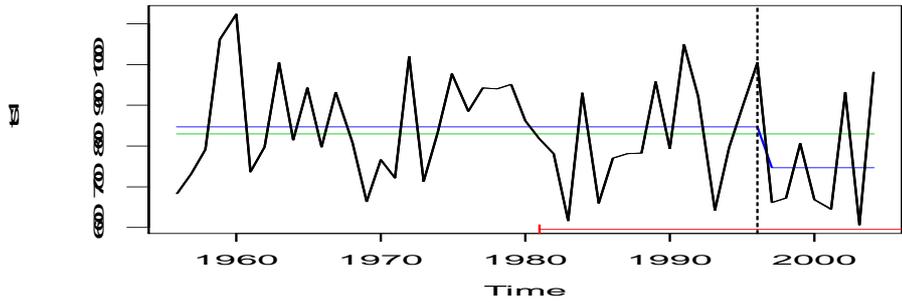
4.2) Evoluzione della piovosità nel periodo 1956 – 2004

Per ogni località, l'analisi di breakpoints ha permesso di trovare i punti di discontinuità presenti, dal 1956 al 2004, nell'andamento delle precipitazioni annuali, stagionali e nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento. Il punto di discontinuità coincide con l'anno che separa due periodi di tempo caratterizzati da medie diverse di precipitazione.

Sostanzialmente i breakpoints ricadono tutti in due intervalli temporali; il primo include gli anni '60 e metà anni '70, il secondo è a cavallo tra gli anni '80 e gli anni '90.

Tab. 3: Per ciascuna località, media ante e post al breakpoint nell'andamento della piovosità nel totale annuo, in primavera, in estate, in autunno, in inverno, durante il ciclo di coltivazione del mais e durante quello del frumento.

Località	Totale annuo			
	breakpoint	media ante	media post	$\Delta\%$
Legnaro	1996	842	775	-8.0
Portogruaro	1966	1077	965	-10.4
Rovigo	1966	730	687	-5.9
Vicenza	1965	1135	1081	-4.8
Aprile-Giugno				
Legnaro	1963	243	221	-8.9
Portogruaro	1975	290	256	-11.8
Rovigo	1963	193	186	-3.4
Vicenza	1965	321	294	-8.3
Luglio-Settembre				
Legnaro	1962	212	169	-20.1
Portogruaro	1969	265	238	-10.1
Rovigo	1962	166	158	-4.9
Vicenza	1962	257	217	-15.5
Ottobre-Dicembre				
Legnaro	1964	219	252	14.9
Portogruaro	1964	307	333	8.5
Rovigo	1989	183	219	19.8
Vicenza	1991	439	360	-18.1
Gennaio-Marzo				
Legnaro	1988	168	133	-21.0
Portogruaro	1988	214	137	-36.1
Rovigo	1987	145	124	-14.9
Vicenza	1987	242	198	-18.0
Ciclo culturale del frumento				
Legnaro	1965	580	519	-10.5
Portogruaro	1972	746	636	-14.7
Rovigo	1965	485	463	-4.4
Vicenza	1965	808	782	-3.2
Ciclo culturale del mais				
Legnaro	1996	460	388	-15.7
Portogruaro	1976	556	476	-14.3
Rovigo	1968	364	343	-5.8
Vicenza	1965	585	499	-14.8



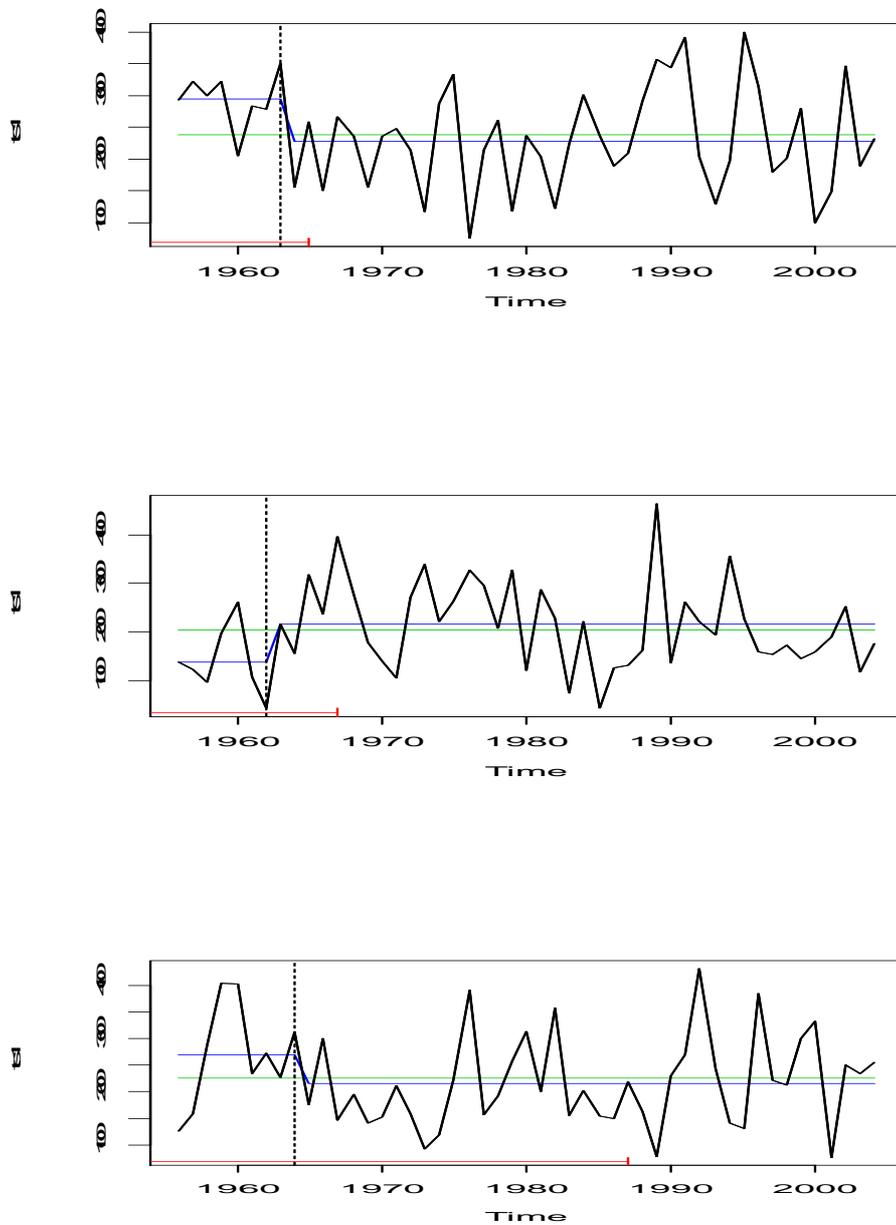
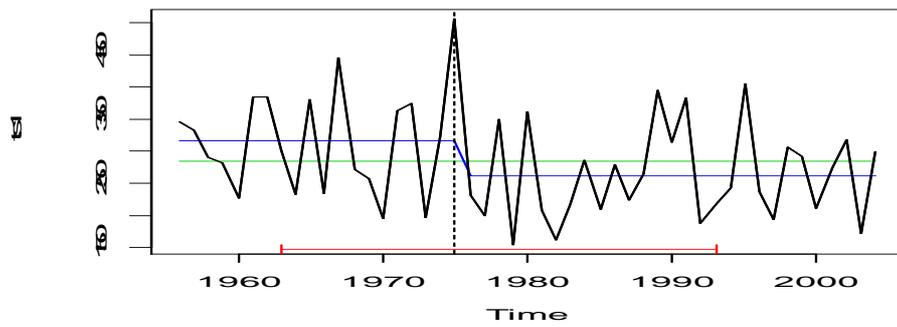
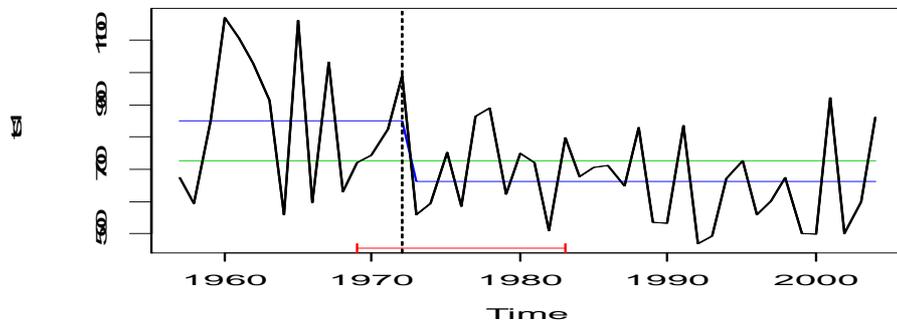
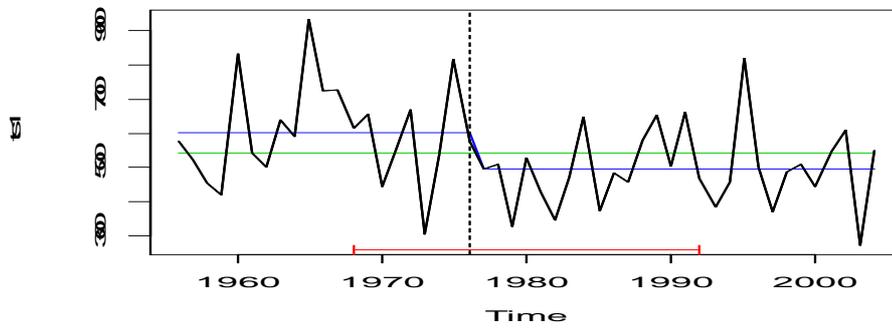
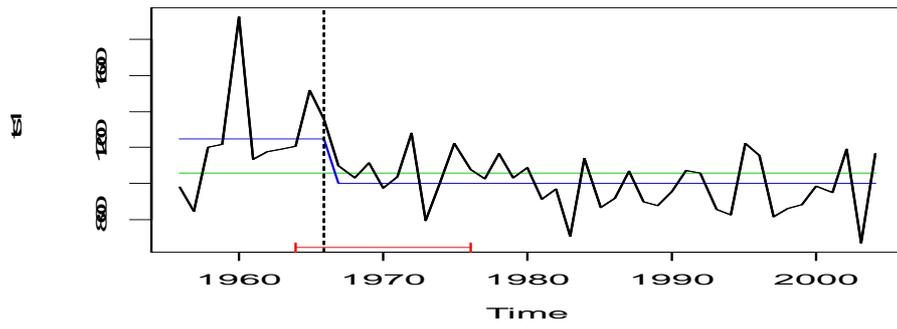


FIG 11: Dalla pagina precedente, dall'alto verso il basso: andamento della precipitazione annuale, nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, in inverno, in primavera, in estate e in autunno, dal 1956 al 2004 a Legnano. Si possono vedere anche i breakpoints (individuati dalla linea tratteggiata) e il loro intervallo fiduciale (linea rossa).



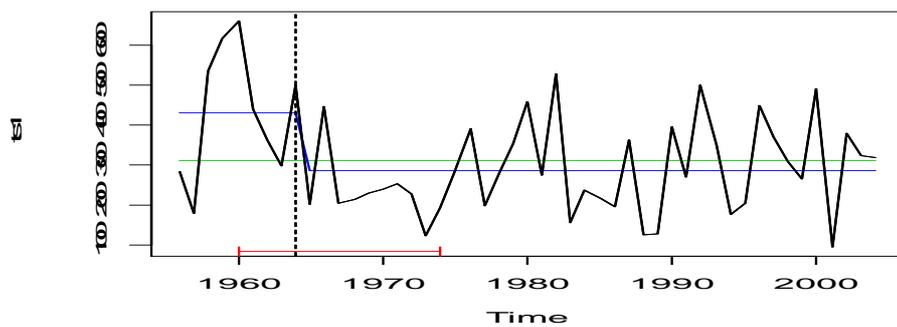
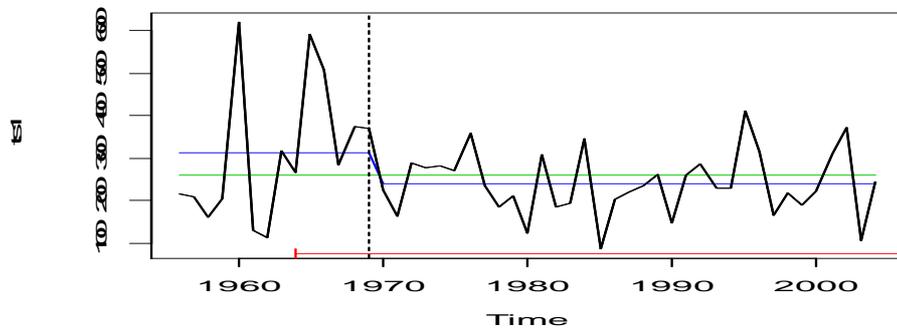
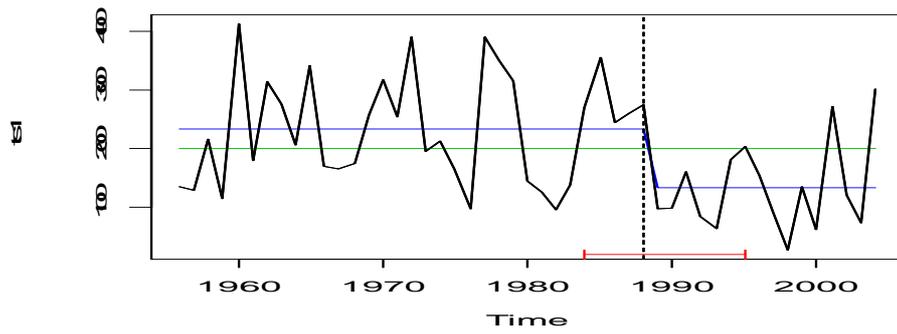
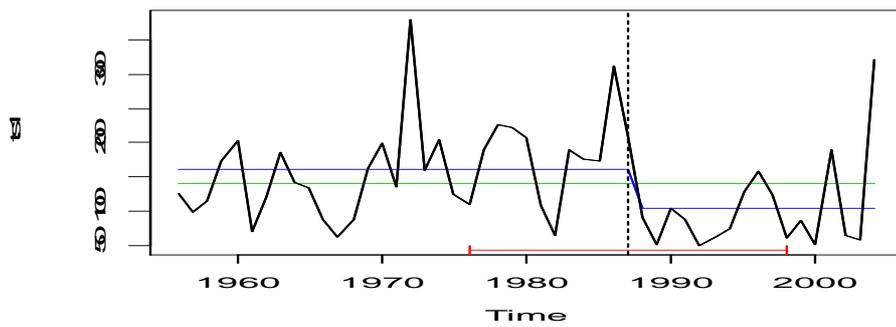
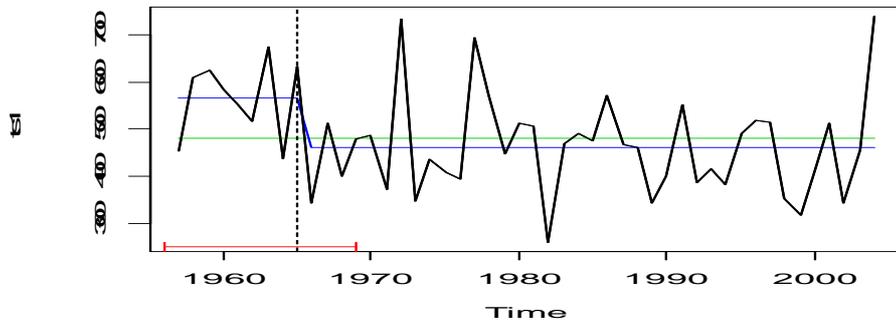
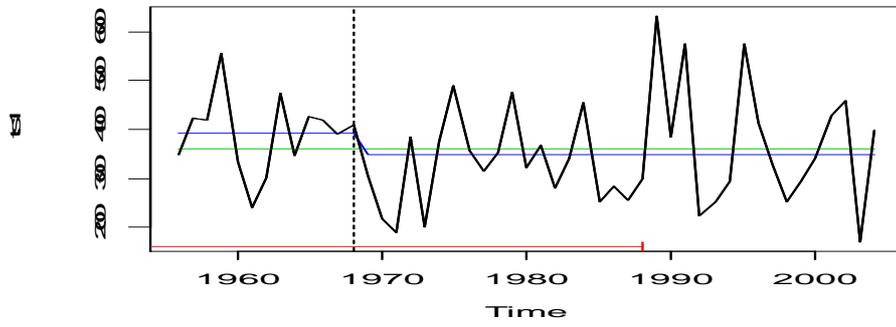
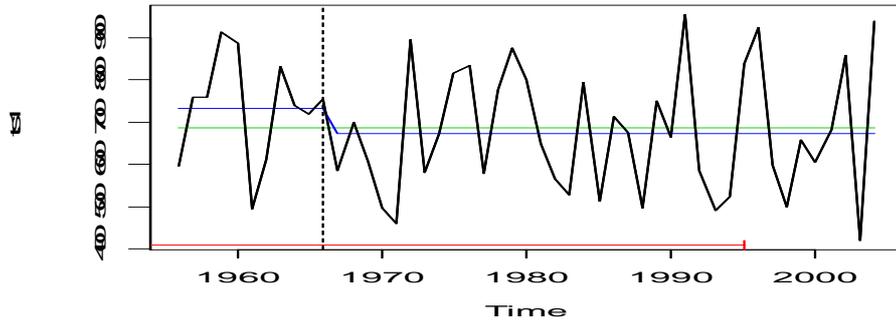


FIG 12: Dalla pagina precedente, dall'alto verso il basso: andamento della precipitazione annuale, nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, in inverno, in primavera, in estate e in autunno, dal 1956 al 2004 a Portogruaro. Si possono vedere anche i breakpoints (individuati dalla linea tratteggiata) e il loro intervallo fiduciale (linea rossa).



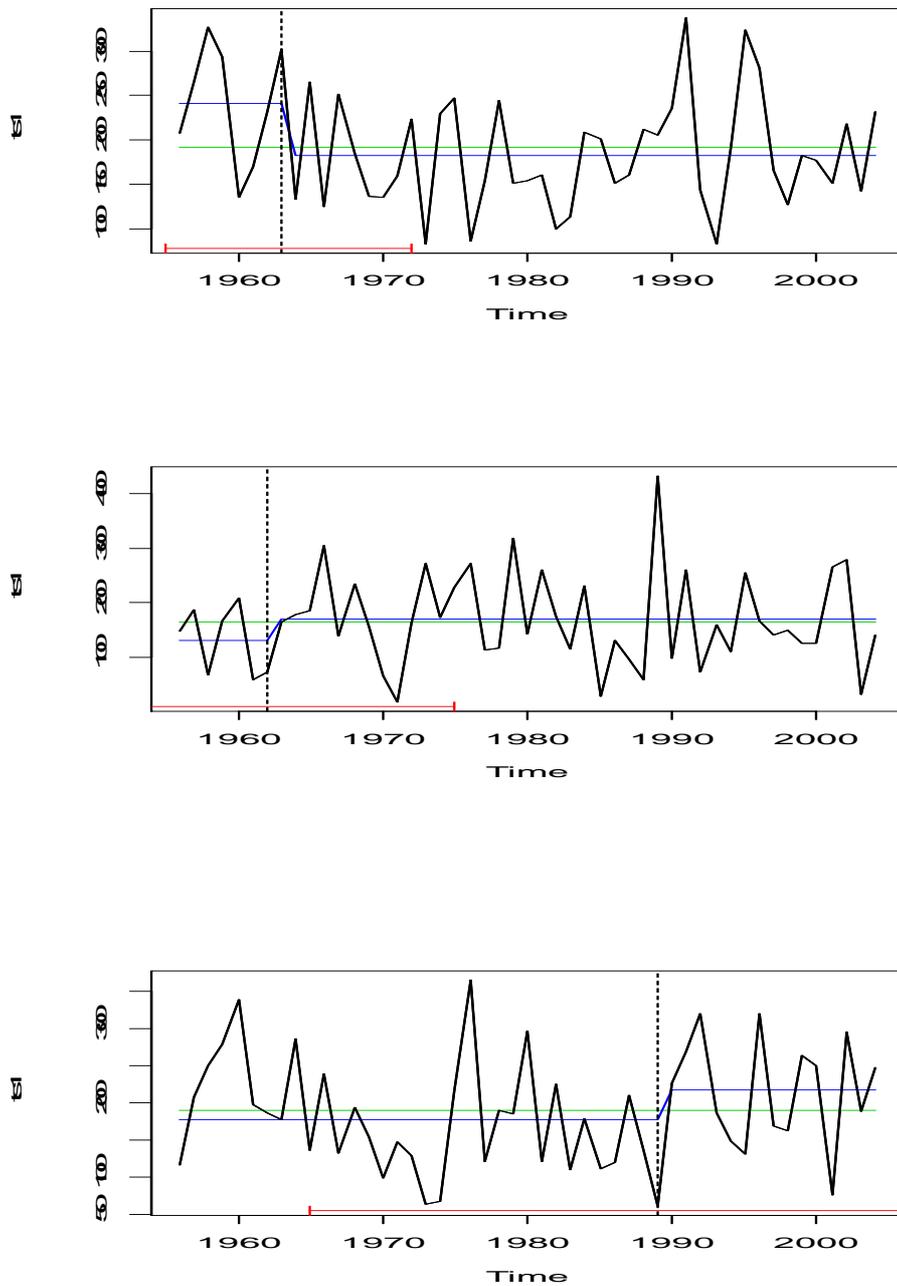
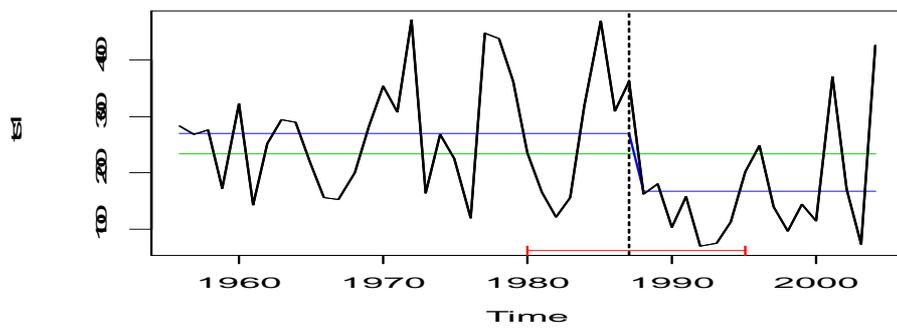
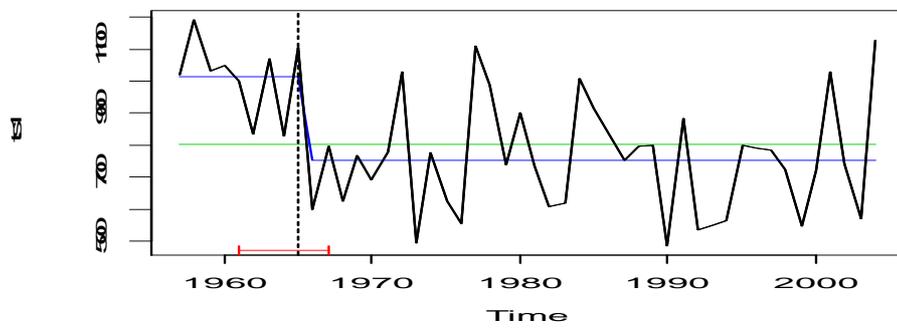
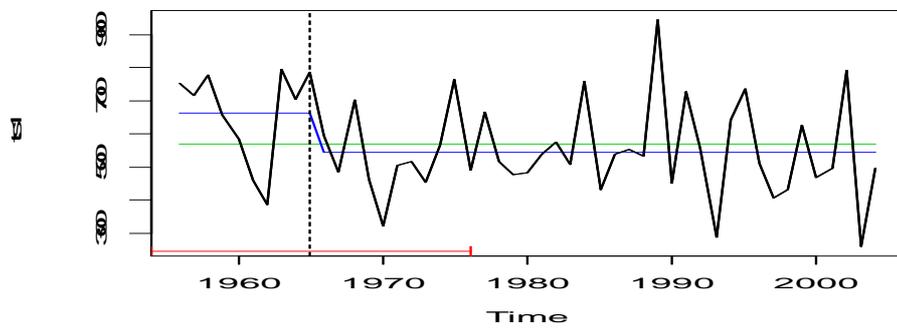
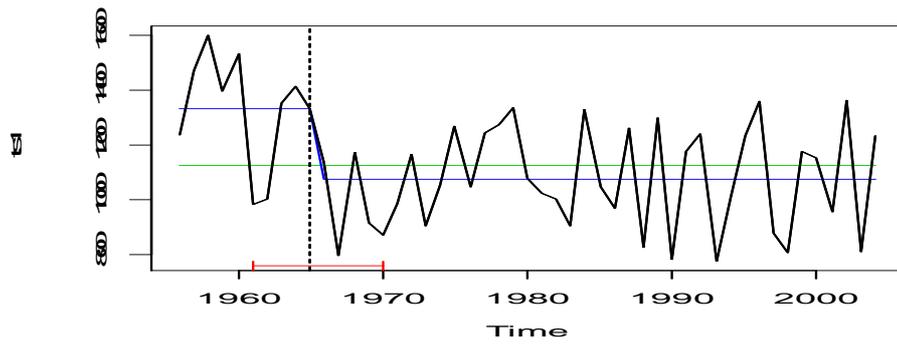


FIG 13: Dalla pagina precedente, dall'alto verso il basso: andamento della precipitazione annuale, nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, in inverno, in primavera, in estate e in autunno, dal 1956 al 2004 a Rovigo. Si possono vedere anche i breakpoints (individuati dalla linea tratteggiata) e il loro intervallo fiduciale (linea rossa).



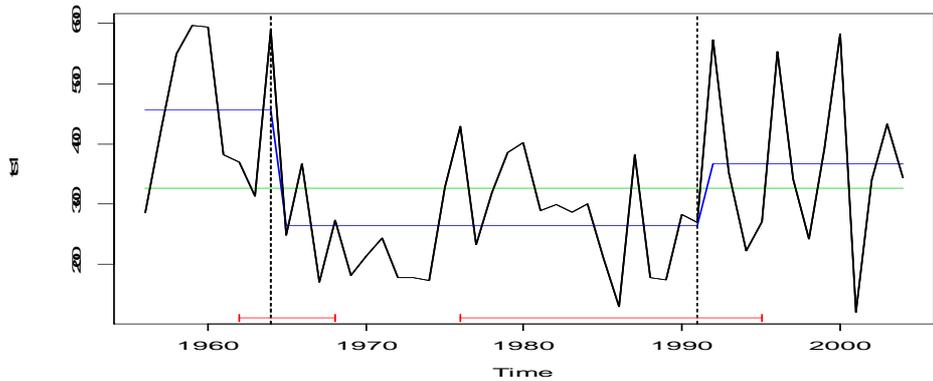
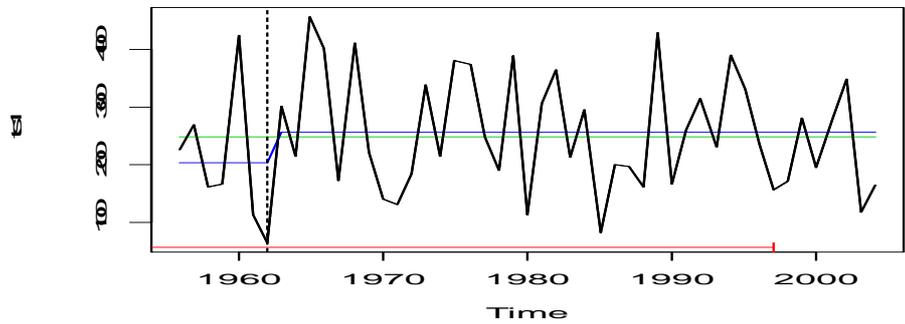
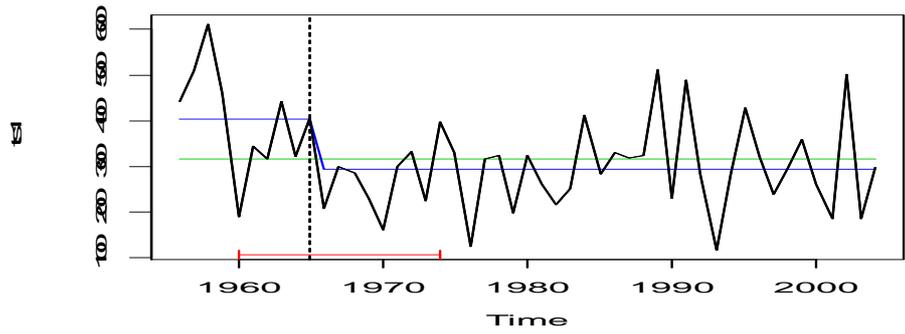


FIG 14: Dalla pagina precedente, dall'alto verso il basso: andamento della precipitazione annuale, nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, in inverno, in primavera, in estate e in autunno, dal 1956 al 2004 a Vicenza. Si possono vedere anche i breakpoints (individuati dalla linea tratteggiata) e il loro intervallo fiduciale (linea rossa).

E' da notare che gli studiosi hanno apprezzato, a larga scala, una generale tendenza a un calo delle precipitazioni a partire dagli anni compresi proprio nel primo intervallo di tempo suddetto e un leggero rialzo che inizia dagli anni appartenenti al secondo range temporale.

Nel 1975, in un articolo di P. Gwynne è riportato che tra il 1945 e il 1968 si è osservato un calo di mezzo grado della temperatura media dell'emisfero nord. Nello stesso si viene a conoscenza che tra il 1971 e il 1972, nell'emisfero boreale, c'è stato un aumento della copertura nevosa e che negli U.S.A., tra il 1964 e il 1972, si è registrata una riduzione del 1,3% dell'intensità di radiazione incidente sulla superficie terrestre. A causa di questo presunto "raffreddamento globale" l'evaporazione sarebbe diminuita e questo spiegherebbe la riduzione del quantitativo di precipitazioni apprezzato dagli anni '60-'70. Già in passato 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 ed 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 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»* (Lamb; 1973).

I risultati di un recente studio sull'evoluzione delle temperature minime e massime in diverse località del Veneto, rispecchianti tendenze globali, rivelano un incremento delle temperature che incomincia all'incirca negli anni ottanta. Le alte temperature provocano una maggiore evaporazione e questo spiegherebbe il nuovo "salto" nella tendenza generale delle precipitazioni. Con questo secondo cambiamento non si è ritornati al livello di precipitazioni vigente prima degli anni '60 probabilmente perché contemporaneamente si è assistito a una migrazione verso est dell'anticiclone delle Azzorre e questo ha la conseguenza di portare meno pioggia all'Europa Meridionale e di più a quella Settentrionale. Viene così mitigato l'effetto dovuto alla maggiore evaporazione.

Per fenomeni locali, questa evoluzione generale nell'andamento delle precipitazioni non si ripete fedelmente in tutte le analisi di breakpoints eseguite. Ad esempio, quasi tutte le volte si nota soltanto un solo punto di discontinuità a cui segue un calo delle precipitazioni.

In tutti gli andamenti di piovosità delle quattro località, si è scelto l'anno 1990 come punto di discontinuità per quantificare le variazioni di precipitazione. È stato selezionato questo anno perché esso è successivo al periodo di tempo in cui si sono registrati cambiamenti climatici a larga scala. Questa scelta è poi dettata dal fatto che dal 1956 al 1990 si ha una normale climatica, ovvero un periodo di tempo di circa 30 anni e richiesto dalla WMO per la definizione di clima in una data località. Tra l'altro il 1990 è un anno vicino al periodo in cui si sono cominciati a vedere cambiamenti nell'andamento delle temperature.

Dal confronto delle situazioni prima e dopo il breakpoint, si denota un calo della piovosità annuale media.

C'è un decremento modesto della piovosità media in primavera e in estate, notevole in inverno mentre in autunno si registra un sensibile aumento.

Sia per il ciclo di coltivazione del frumento sia per quello del mais c'è un calo della piovosità media. Il calo è più spiccato per il frumento perché si risente del fatto che in inverno, stagione che assieme all'autunno e alla primavera ricade la coltivazione della pianta, c'è un grande calo della piovosità anche se in autunno si registra un incremento. Le stagioni in cui si coltiva il mais (primavera ed estate) subiscono solo un lieve calo nella piovosità per quello in questo caso la diminuzione è meno intensa.

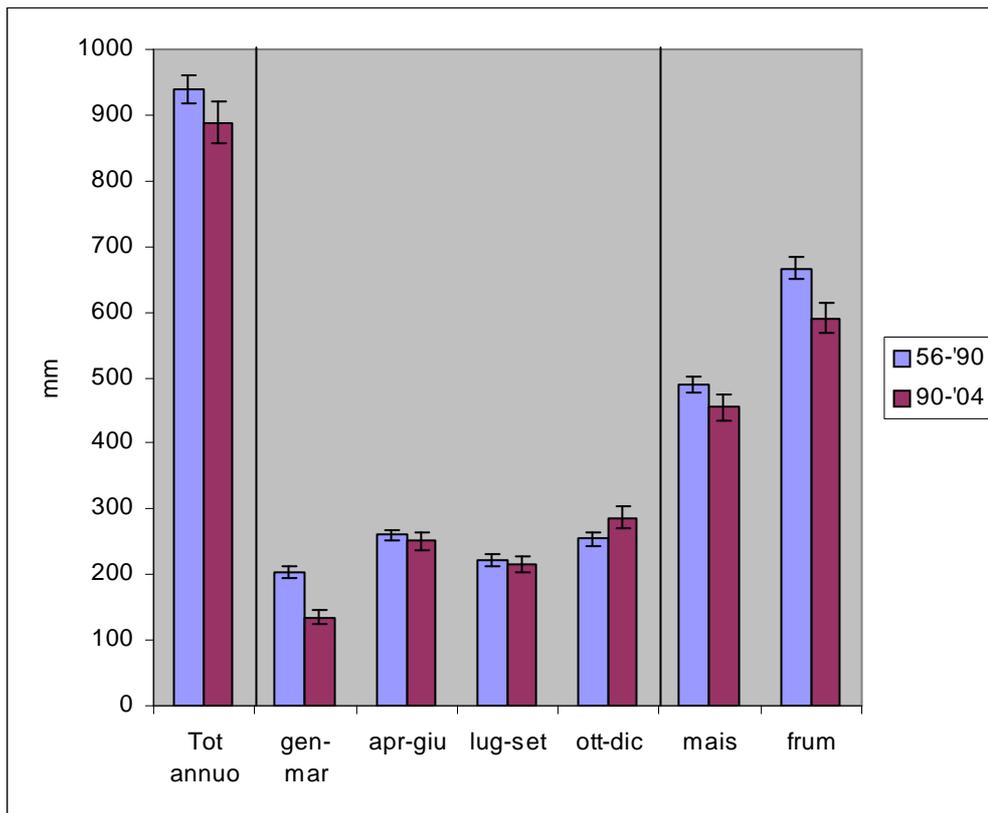


FIG 15:

Variazione assoluta della piovosità media annua, stagionale e nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, nelle quattro località considerate.

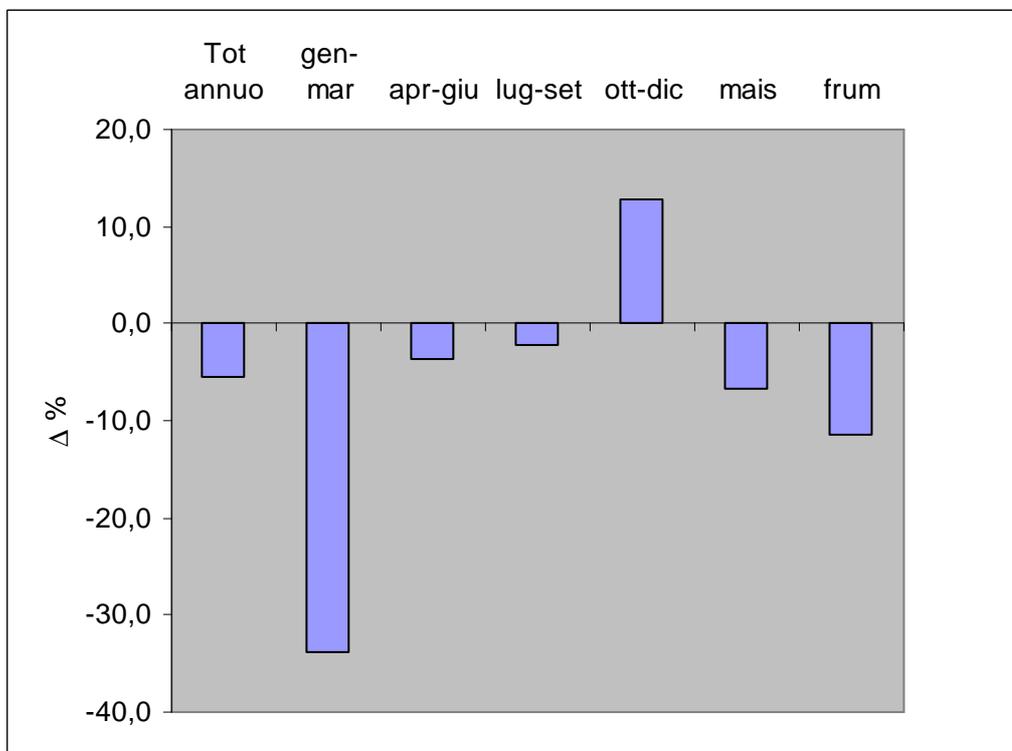


FIG 16:

Variazione percentuale della piovosità media annua, stagionale e nel ciclo di coltivazione del mais e del frumento, nelle quattro località considerate.

CONCLUSIONI

Il confronto tra le misure effettuate con pluviometri meccanici ed automatici ha evidenziato una sostanziale coincidenza dei due tipi di misura. Va ricordato che non sempre le locazioni delle stazioni erano coincidenti, quindi parte della dispersione della relazione tra le due serie di misure è da ascrivere alla forte variabilità spaziale dei fenomeni piovosi. La sostanziale coincidenza tra i due tipi di misura è particolarmente importante perché permette di accodare direttamente le rilevazioni più recenti (effettuate con pluviometri automatici) con la serie di dati precedente senza introdurre particolari fonti di errore. Questo risultato si discosta da quanto osservato in precedenza per altri parametri climatici come la temperatura, che richiede una calibrazione sito-specifica per consentire l'accoppiamento di serie storiche ottenute con strumentazioni diverse.

Per la piovosità è quindi possibile effettuare sui dati tal quali un'analisi dell'evoluzione climatica su un tempo prolungato (circa 50 anni).

Per quanto riguarda lo studio sull'andamento della piovosità, dal 1956 ad oggi si è osservata una prima fase di decremento delle piovosità annuali fino all'inizio degli anni '70, seguito da una ripresa con un massimo attorno al 1980 e poi da un nuovo calo. Sul cinquantennio, la riduzione media è stata di circa 3,4 mm/anno come media delle quattro locazioni analizzate (Fig 17). Accanto alla riduzione si è evidenziata una diversa ripartizione annuale della piovosità. I decrementi più consistenti della piovosità sono stati osservati per il periodo invernale mentre la piovosità primaverile ed estiva ha presentato riduzioni limitate. Nell'autunno si evidenzia invece un tendenziale incremento della piovosità. Dal punto di vista agro-climatico, ciò determina una riduzione della disponibilità idrica naturale per le colture estive (-7%) e soprattutto, a causa della spiccata siccità invernale, per le colture autunno-vernine (-11%).

Anche dal punto di vista della gestione territoriale, questa evoluzione può determinare dei problemi di entità ancora non nota per la disponibilità idrica della pianura, legati da una parte ai minori accumuli nevosi in montagna durante l'inverno e dall'altra al potenziale aumento di intense piovosità autunnali che aggravano il rischio idrogeologico.

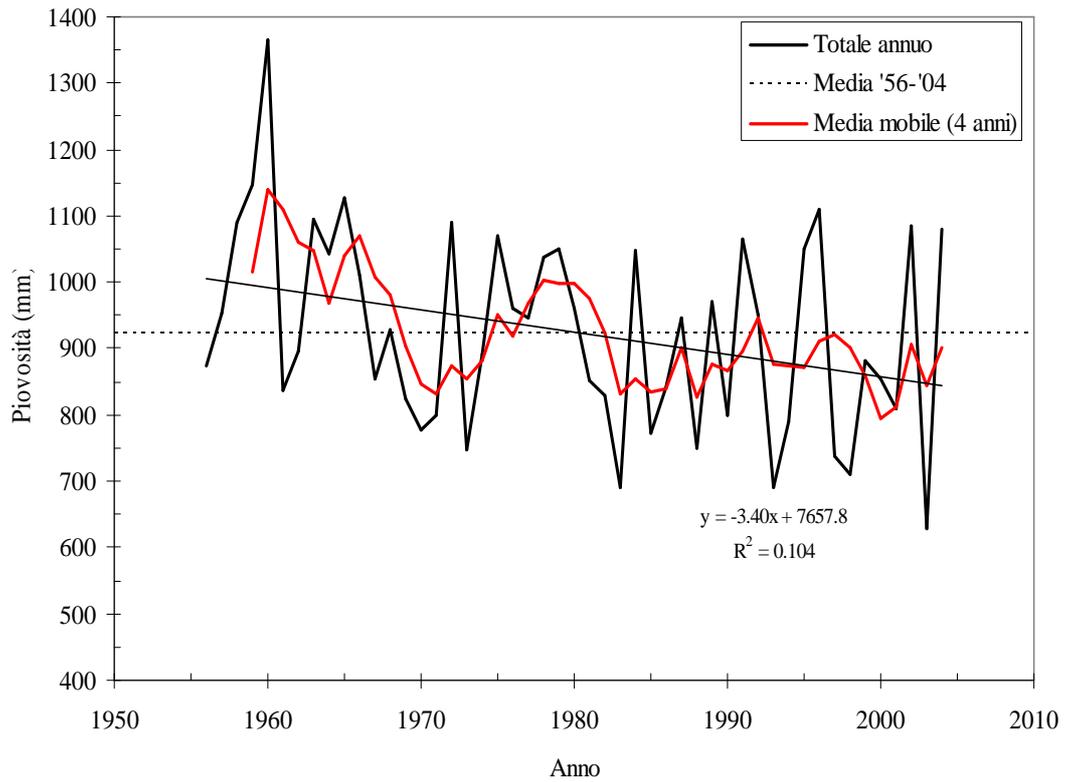


FIG 17: Tratto marcato continuo e nero: andamento della piovosità annuale media delle quattro località considerate.

Tratto continuo e rosso: andamento della media mobile (4 anni)

Tratto fino continuo e nero: retta di regressione

Tratto discontinuo e nero: media delle piovosità annuali medie delle quattro zone di studio

BIBLIOGRAFIA

- Gwynne Peter, "The cooling world", Newsweek, 28 Aprile 1975, p.64.
- 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.
- Zeileis A., Kleiber C., Krämer W., Hornik K., 2003. Testing and Dating of Structural Changes in Practice, *Computational Statistics and Data Analysis*.
- Borin M., 1999 – Introduzione all'ecologia del sistema agricoltura. CLEUP Editrice, Padova, 445pp. (cfr 57-58)
- Michelini L., A.A: 2005-2006 – L'evoluzione della temperatura in alcuni ambienti del Veneto: implicazioni per i servizi di informazione agrometeorologica. Corso di Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente, Facoltà di SS.MM.FF.NN e Agraria, Università degli Studi di Padova.
- www.arpa.veneto.it/home/docs/Evoluzione_del_clima_in_Veneto_cinquantennio_13/09/2007.pdf
- www.arpa.veneto.it/indice.asp?I=cmt/meteo/meteo.htm
- www.arpa.veneto.it/upload-teolo/agrometeo/index.htm
- www.bom.gov.au/info/GreenhouseEffectAndClimatechange.pdf
- www.enea.it/com/web/convegni/work200370/DossierCambClim.pdf
- www.enea.it/com/web/pubblicazioni/REA_06/Analisi2006.pdf
- www.enea.it/com/web/pubblicazioni/REA_06/AnalisiScenari2006.pdf
- www.noaa.gov/about-noaa.html