

UNIVERSITA'
DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso interfacoltà SS.MM.FF.NN ed AGRARIA in
SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE

L'EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA IN ALCUNI AMBIENTI DEL
VENETO: IMPLICAZIONI PER I SERVIZI DI INFORMAZIONE
AGROMETEOROLOGICA.

RELATORE: Prof. Antonio Berti
CORRELATORE: Dott. Alessandro Chiaudani

Laureanda: Lucia Michelini

ANNO ACCADEMICO 2005-2006

INDICE

| | |
|---|-------------|
| CAPITOLO 1: <i>INTRODUZIONE</i> | Pag. |
| Paragrafo 1.1 Statistica e meteorologia. | Pag. |
| Paragrafo 1.2 Il Centro Meteorologico di Teolo dell'ARPA Veneto. | Pag. |
| Paragrafo 1.3 Il servizio Agrometeorologico del CTM. | Pag. |
| Paragrafo 1.4 Bollettini Agrometeorologici. | Pag. |
| Paragrafo 1.5 Il servizio Rete di Telemisura. | Pag. |
| CAPITOLO 2: <i>SCOPO DELLA TESI</i> | Pag. |
| CAPITOLO 3: <i>MATERIALI E METODI</i> | Pag. |
| CAPITOLO 4: <i>ANALISI DATI</i> | Pag. |
| CAPITOLO 5: <i>RISULTATI</i> | Pag. |
| Paragrafo 5.1 Relazione tra dati meccanici e dati automatici. | Pag. |
| Paragrafo 5.2 Analisi della variazione della temperatura nel periodo 1956-2004. | Pag. |
| Paragrafo 5.3 Implicazioni agrometeorologiche delle modifiche climatiche. | Pag. |
| CAPITOLO 6: <i>DISCUSSIONI E CONCLUSIONI</i> | |
| Pag. | |
| CAPITOLO 7: <i>BIBLIOGRAFIA</i> | |
| Pag. | |
| INDICE | |
| Pag. | |
| Allegati | Pag. |

INTRODUZIONE

1.1) Statistica e meteorologia.

La statistica è una disciplina che permette di trarre conclusioni su tutta una popolazione, quando se ne conoscono solamente pochi elementi, raggruppati in uno o più campioni: ciò è di fondamentale importanza anche nell'ambito delle scienze ambientali, dove lo studio di fenomeni pone spesso problemi collegati all'impossibilità (tempo, risorse, ecc.) di misurare ogni individuo di una popolazione, così che l'oggetto di studio principale della statistica finisce per essere popolato da quella porzione, in massimo grado possibile rappresentativa della popolazione di provenienza, che è il campione.

I ricercatori nelle scienze ambientali, infatti, molto raramente conoscono tutta la popolazione originaria; di conseguenza, i metodi statistici di norma utilizzati sono riferiti quasi esclusivamente alla descrizione, all'analisi e al confronto di campioni.

Per esempio, nello studio della temperatura, come dell'inquinamento o di qualunque altro fenomeno, può essere utile vedere quali sono le zone o i periodi che rientrano in piccole estensioni percentuali attorno ai valori massimi o minimi.

A valori così rari, facilmente corrispondono cause anomale, che di norma è interessante analizzare in modo più dettagliato. Nello studio di qualunque fenomeno biologico od ecologico, le misure particolarmente piccole o eccezionalmente grandi rispetto ai valori normali quasi sempre evidenziano cause specifiche, meritevoli di attenzione.

Ad esempio, in discipline come la meteorologia, viene comunemente utilizzato l'intervallo medio, utile nel caso di una serie di dati sulla temperatura, ove non esistono mai valori anomali: a partire dalla T minima e dalla T massima, infatti, il calcolo della media è immediato ed il valore ottenuto si avvicina notevolmente alla media aritmetica, che richiederebbe un accurato disegno sperimentale ed un numero elevato di osservazioni.

Ampio uso della statistica meteorologica viene fatto su tematiche relative al cambiamento climatico di scala intercontinentale, dove l'utilizzo di modelli che permettano di fare previsioni sulle possibili variazioni dei diversi parametri climatici sono più che mai indispensabili.

Grazie quindi alle moderne metodologie statistiche, si ha oggi una chiara visione del comportamento climatico globale, brevemente riassunto dal report sui cambiamenti climatici, pubblicato per l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nel 2001 (<http://www.ipcc.ch>.) che analizza fenomeni riguardanti cambiamenti climatici passati, presenti e futuri, in particolare:

- analizza un gran numero di osservazioni riguardanti l'intero sistema climatico;
- cataloga le sempre maggiori concentrazioni di gas responsabili dell'effetto serra;
- proietta scenari futuri sul cambiamento climatico basandosi su un'ampia scala di modelli riguardanti le future emissioni di gas serra ed aerosol;
- compie studi dettagliati su come l'impatto umano sul clima può essere identificato.

L'IPCC è stato creato dal WMO (World Meteorological Organization) e dall'UNEP (United Nations Environment Programme) nel 1988 e i suoi compiti sono quelli di fornire affidabili

informazioni scientifiche e socio-economiche riguardanti il cambiamento climatico e il suo impatto sul globo terrestre, le opzioni per mitigarne l'influenza e consulenze di carattere scientifico/tecnico/socio-economico su richiesta del COP (Conference of the Parties) e del UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change).

Questo report, che fa parte del TAR (Third Assessment Report), è stato prodotto dal WGI (Working Group I) del IPCC, tra il 1998 e il 2001 da 122 autori principali aiutati da 515 esperti del settore e focalizza l'attenzione sulla scienza riguardante il cambiamento climatico.

Il report analizza un gran numero di osservazioni riguardanti l'intero sistema climatico e conclude che queste osservazioni delineano uno scenario chiaro ed esplicito di riscaldamento del globo terrestre.

Studi dettagliati sono stati fatti sull'influenza che l'uomo ha avuto e tuttora ha sul clima, concludendo che c'è una netta evidenza che il riscaldamento osservato negli ultimi 50 anni è da attribuire alle attività, appunto, antropiche.

Gli effetti principali del cambiamento climatico mondiale possono essere riassunti in questi principali punti:

- aumento della temperatura, a partire dal 1861, in media di circa 0,6 °C (si ritiene che quella del 1990 sia stata la decade più calda e il 1998 l'anno più caldo a partire dal 1861, Fig. 1, che l'aumento di temperatura registrato nell'ultimo secolo nell'emisfero nord sia stato quello più consistente negli ultimi 1000 anni, e che a partire dal 1950, la temperatura globale sia salita di 0,1 °C per decade nei primi 8 chilometri dell'atmosfera);
- diminuzione della superficie nevosa a partire dal 1960 del 10% circa e diminuzione di circa 2 settimane della durata annua dell'estensione dello strato di ghiaccio su fiumi e laghi nelle medie-alte latitudini dell'emisfero boreale, diminuzione del 40% dello spessore dei ghiacciai del mar Artico nelle ultime decadi durante la tarda estate e il primo autunno ed esteso ritiro dei ghiacciai montani delle regioni non-polari nel corso del ventesimo secolo;
- aumento, nell'ultimo secolo, del livello medio globale dei mari di 0,1-0,2 metri e della temperatura delle acque;
- aumento, nell'ultimo secolo, delle precipitazioni dello 0,5-1% per decade nelle medie-alte latitudini dell'emisfero nord e dello 0,2-0,3 per decade nelle zone tropicali (10°N-10°S), diminuzione delle piogge nella zona sub-tropicale dell'emisfero nord (10°N-30°N) dello 0,3% per decade e riduzione delle temperature minime estreme con un piccolo aumento della frequenza delle massime estreme a partire dal 1950.

La conclusione del presente report evidenzia che, dagli ultimi 50 anni, si è in presenza di un sostanziale innalzamento delle temperature (Fig. 2), dovuto principalmente dall'attività umana e, in particolare, dall'aumento della concentrazione dei gas serra .

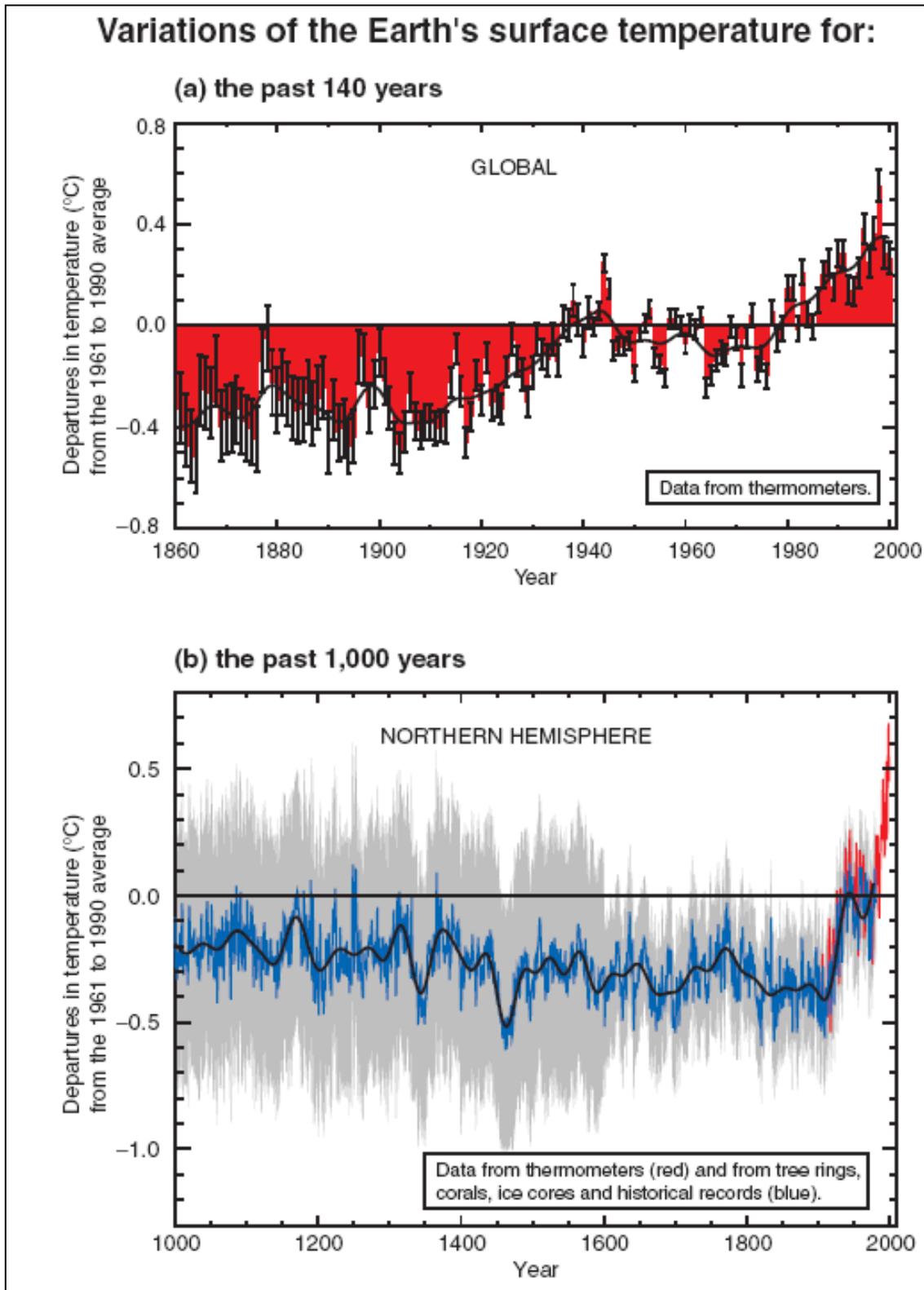


Fig. 1

Variazione della temperatura della superficie terrestre dagli ultimi 140 anni e nell'ultimo millennio. (a) La temperatura è mostrata anno per anno (barre rosse) e approssimativamente decade per decade (linea nera). Ci sono incertezze nelle serie annuali (segmenti neri rappresentanti un intervallo di confidenza del 95%) dovute a errori strumentali, gaps nei set di dati e correzioni di quest'ultimi. A partire dagli ultimi 140 anni è stato stimato un aumento della temperatura media superficiale globale pari a $0,6 \pm 0,2$ °C.

(b) In aggiunta, si può vedere dalle linee blu e dalla curva nera, rappresentanti rispettivamente le variazioni della temperatura media superficiale annuale e le variazioni delle medie cinquantennali nell'emisfero nord a partire dagli ultimi 1000 anni. La regione grigia rappresenta l'intervallo di confidenza del 95% dei dati annuali. Le incertezze crescono man mano che ci si allontana dal 2000. Si vede infine che il tasso e la durata del riscaldamento nel ventesimo secolo sono stati i più consistenti a partire dall'anno 1000. Il 1990 è stata la decade più calda, e il 1998 l'anno più caldo del millennio.

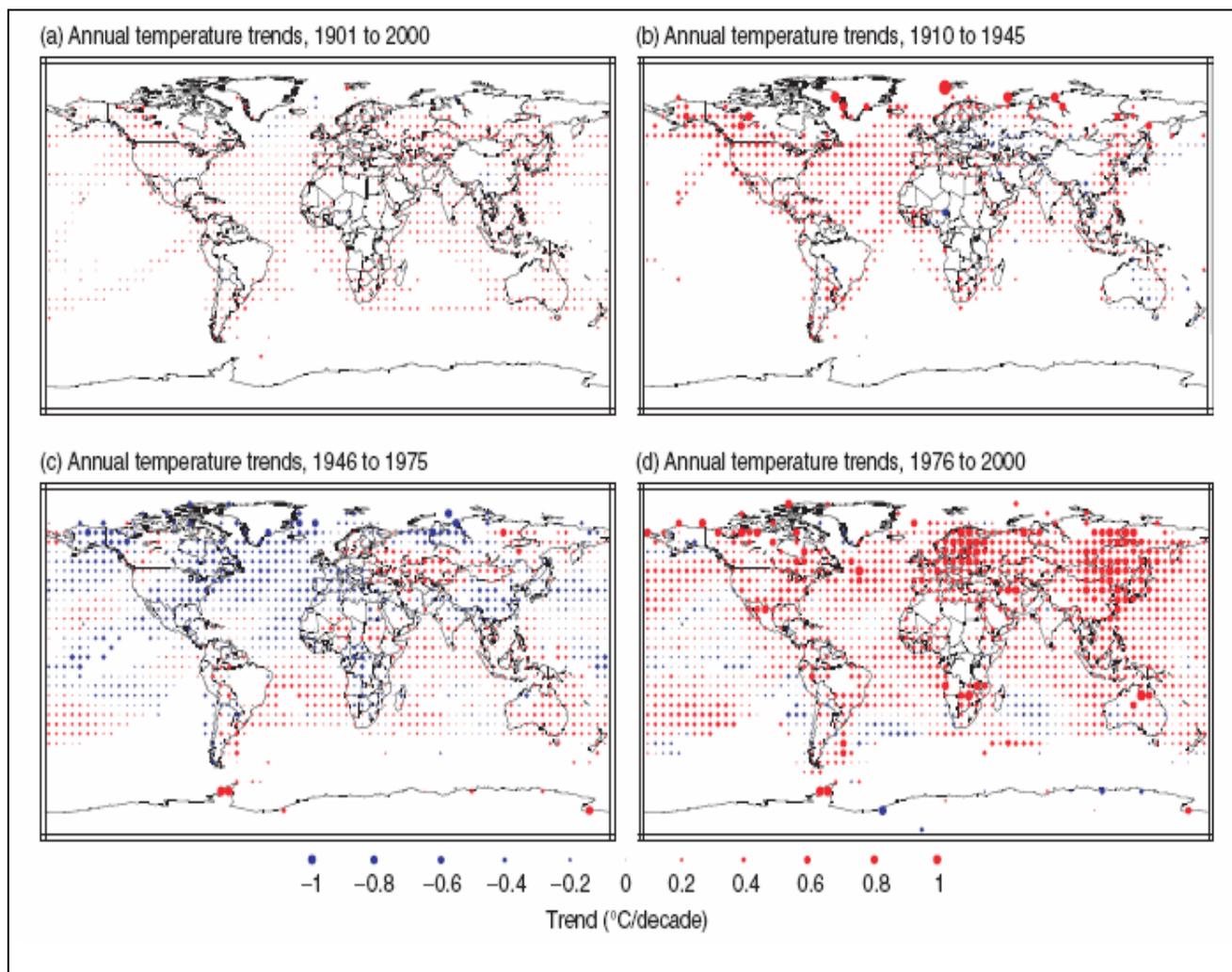


Fig. 2

Trend delle temperature annuali rispettivamente per i periodi 1901-1999, 1910-1945, 1946-1975 e 1976-1999. Il trend d'aumento è rappresentato dal colore rosso e il trend di diminuzione dal blu.

Nonostante queste evidenze a livello globale, su scala regionale il comportamento climatico assume spesso comportamenti differenti: va considerato che la variabilità atmosferica sulle scale temporali inter-stagionale ed inter-annuale è regolata da molti fenomeni, che interagendo tra di loro determinano la complessa fenomenologia meteorologica al suolo nelle diverse aree climatiche del globo terrestre. Ad esempio, nel Nord dell'Italia (area alpina e valle padana), il clima locale è caratterizzato da un insieme molto complesso di fattori e risulta essere la conseguenza finale di una

lunga e complessa catena di connessioni meteorologiche, che coinvolgono circolazione globale, locale e caratteristiche fisico-geografiche del territorio (p. es. corografia delle Alpi).

Per indagare quindi fenomeni più circoscritti e per vedere se le locali tendenze evolutive corrono di pari passo con quelle globali, sono disponibili serie storiche di vario tipo raccolte da più enti pubblici e privati, nazionali e regionali, come, nel caso della presente tesina, dal Centro meteorologico di Teolo dell'ARPAV, che hanno rilevato la temperatura e numerosi altri parametri climatici a partire da circa gli ultimi cinquanta-cento anni.

Si tratta sostanzialmente:

- di data-set delle rilevazioni registrate presso le stazioni gestite originariamente dal **Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale**, affidati poi in gestione alle regioni, il cui recupero (presso talune regioni già attuato, per altre ancora in corso) presuppone quantomeno la digitalizzazione (dagli originali supporti cartacei) e la validazione secondo metodologie standardizzate, al fine di consentire l'applicazione di moderne tecniche di descrizione ed analisi. Questa rete di stazioni è la più densa fra quelle disponibili in Italia, copre l'intero territorio nazionale ed ha una durata sufficiente da permettere uno studio completo non solo del clima medio ma anche della sua variabilità sia annuale che decadale. Tale data-set comprende dati giornalieri di precipitazione giornaliera cumulata e di temperatura massima e minima per periodi diversi da stazione a stazione, che comunque possono estendersi dal 1920 ai giorni nostri;
- di data-set provenienti da altri organismi che raccolgono dati meteorologici in modo continuo e sistematico, cioè:
 - a) su scala nazionale l'**Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA)** del Ministero dell' Agricoltura e delle Foreste che persegue finalità agricole studiando gli effetti sulle colture dei fenomeni meteorologici, dal 1988 gestore della Rete Agrometeorologica Nazionale RAN con l'obiettivo di disporre, a regime, di una Rete con una densità di circa 250 stazioni nell'intero territorio nazionale, mediante l'integrazione con le Reti nazionali (SMAM, Servizio Idrografico, UCEA) e locali (Servizi meteo-e agrometeo-regionali, consorzi di difesa, ecc.), così da permettere il pieno utilizzo operativo dei modelli agro-meteorologici con una risoluzione di circa 30 x 30 km.); il Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, nell'ambito del Sistema Informatico Agricolo Nazionale (SIAN), in concessione all'AGRISIEL s.p.a., intraprende, nel 1988, la costituzione di una Banca Dati Agroclimatica Nazionale (raccolta centralizzata di una selezione dei dati rilevati dalle reti meteorologiche nazionali esistenti e di altri di natura agronomica e territoriale ad essi collegati) e della Rete Agrometeorologica Nazionale (progettata ad integrazione delle reti di stazioni già esistenti ed in grado di interconnettersi con i Servizi Agrometeorologici Regionali), i cui dati e le cui elaborazioni vengono diffusi attraverso il Bollettino Agrometeorologico Nazionale, redatto a cura di UCEA; il **Servizio Idrografico** del Ministero dei Lavori Pubblici che misura i parametri utili a caratterizzare il territorio sotto il profilo idrologico; il **Servizio Meteorologico della Aeronautica Militare** del Ministero della Difesa i cui rilievi meteorologici sono indirizzati alla navigazione aerea e alla previsione del tempo; l'**ISTAT** che non dispone di propria rete per i rilievi, ma raccoglie e pubblica i dati dei due servizi nazionali precedenti;
 - b) reti di limitata estensione o densità e stazioni locali, destinate ad asservire a specifiche finalità, sviluppatesi nel dopoguerra in relazione al rinnovato interesse per la meteorologia suscitato dalle necessità di rimodernare la produzione: **Istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche; Istituti Universitari; Istituti Sperimentali del Ministero dell'Agricoltura; Cassa per il Mezzogiorno** (dai primi anni '50 -

cessata); **Consorzi ed enti vari di bonifica; Assessorati delle Regioni; Camere di Commercio; Centro Internazionale Alti Studi Agronomici Mediterranei; ENEL; ENEA; ANAS; RAI; privati;**

c) su scala regionale, conseguentemente all'espansione ed intensificazione della pratica irrigua nelle aree servite da reti pubbliche di distribuzione, la meteorologia viene riconosciuta come un importante strumento che può qualificare l'assistenza tecnica, in particolare quella volta alla gestione irrigua, alla previsione locale del tempo ed alla difesa antiparassitaria.

Così a partire dagli anni '70, mancando un servizio agrometeorologico nazionale, le Regioni avviano o studiano programmi regionali o provinciali di assistenza su base agrometeorologica, assistendosi dapprima alla costituzione di numerosi **Servizi Agrometeorologici Regionali (SAR)**, che prevedono l'attivazione di reti regionali di rilevamento meteorologico, e poi alla implementazione della rete di connessioni (iniziata già dai consorzi di bonifica) in conseguenza alle urgenti necessità di coordinamento (delle attività di rilevamento, di elaborazione e diffusione dei dati) nel frattempo emerse non solo in relazione alla forte espansione delle irrigazioni, ma anche in risposta ad esigenze di tutela del territorio.

Purtroppo le serie, spesso imponenti, di dati rilevati sul territorio nazionale dai vari servizi, male si integrano tra di loro, differenziandosi per tipologia di strumentazione (meccaniche o automatiche), tipo e numero dei parametri rilevati, garanzia di corretta installazione e gestione delle stazioni, effettiva disponibilità dei dati rilevati e delle necessarie informazioni su gestione e ubicazione delle stazioni e delle apparecchiature. Di conseguenza, qualora si voglia portare avanti uno studio sui cambiamenti climatici, un controllo propedeutico da fare è l'analisi per verifica dell'omogeneità delle serie vive, che deve precedere il lavoro di analisi e descrizione dei dati stessi, a partire dalle serie di medie mensili per poi arrivare all'analisi delle serie di dati giornalieri che permettono di studiare oltre alla variabilità dei valori medi anche quella di frequenza degli estremi.

Frequentemente le serie storiche presentano discontinuità dovute a diversi fattori. Ci sono molte cause possibili di discontinuità nelle serie storiche climatiche. Negli ultimi anni è cresciuta la consapevolezza della non omogeneità dei dati raccolti da ogni tipo di stazione, di superficie (p. es. Easterling and Peterson, 1995) e d'aria (p. es. Elliott e Gaffen, 1991; Gaffen, 1994; Parker e Cox, 1995). Le stazioni cambiano nell'altitudine e/o nel microclima, ad esempio, ma anche nelle strumentazioni (tipi di sensori) e nelle tecniche di registrazione (differenti numeri di osservazioni, diversi algoritmi utilizzati). Ad esempio Chelliah e Arkin (1992) capirono che le serie temporali delle radiazioni uscenti ad onda lunga contengono innumerevoli discontinuità causate dall'uso di differenti satelliti (con tempi di attraversamento e finestre spettrali diversi). Queste sono solo alcune delle cause artificiali, ossia non legate al clima, che possono determinare la non omogeneità dei data-set.

Inoltre, nel caso in cui nelle stazioni monitorate le strumentazioni dovessero essere cambiate con altre meno obsolete, è indispensabile disporre di un periodo di affiancamento dei due tipi di strumenti, in modo da poterne comparare la funzionalità e, se necessario, ricavare delle funzioni di correzione per i dati passati, in modo da renderli omogenei con quelli ottenuti con il nuovo set di strumenti. Da quest'ultima serie allungata e omogeneizzata è possibile di conseguenza studiare il trend di evoluzione della temperatura nelle aree considerate.

Ad ogni modo non tutte le discontinuità sono artificiali, come l'inizio della siccità di Sahel o il cambiamento delle variabili climatiche globali negli anni 1996/97 circa (Trenberth, 1990).

1.2) Il Centro Meteorologico di Teolo dell'ARPA Veneto.

Il Centro Meteorologico di Teolo (CMT) è una struttura specializzata dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente del Veneto (ARPAV), deputata alla realizzazione e gestione operativa di un sistema integrato per il monitoraggio dei fenomeni ambientali.

Le informazioni prodotte dal sistema vengono utilizzate per diverse finalità che includono il controllo del territorio, le previsioni meteorologiche in scala locale e la produzione di informazioni agrometeorologiche.

In sintesi le attività del CMT sono:

- lo studio, il controllo e la previsione a breve-medio termine dei fenomeni atmosferici in scala regionale e locale (Servizio Meteorologico);
- l'acquisizione, l'elaborazione e la diffusione di informazioni agrometeorologiche per una gestione delle pratiche agricole (difesa fitopatologica, irrigazione, diserbo, ecc.) rispettosa dell'ambiente (Servizio Agrometeorologico);
- il monitoraggio della risorsa idrica per una corretta gestione del territorio e dei corsi d'acqua regionali, e fornitura di un servizio di informazione idrometeorologica basilare come supporto a momenti operativi e preventivi (Servizio Idrologico).

Tali attività sono supportate dai Servizi:

- Rete di telemisura, composta da circa 200 stazioni automatiche per il monitoraggio del territorio, collegate in tempo reale con il centro di calcolo del Centro. Le stazioni finalizzate al supporto delle attività agricole sono oltre 60 e controllano la zona di pianura e le colline del Veneto. I dati vengono utilizzati per diversi scopi quali le previsioni meteorologiche, la modellistica di simulazione epidemiologica, i bilanci idrici per l'irrigazione, la climatologia, ecc.;
- CED (Centro Elaborazione Dati), a supporto della strumentazione tecnica specializzata nella raccolta dei dati sul territorio, gestisce un sistema informativo finalizzato alle più svariate elaborazioni che consente di coordinare, in tempo reale, una vasta gamma di informazioni e la loro diffusione;
- uffici di supporto (p. es. il centro operativo di Rovigo che svolge attività relative alla gestione e alla manutenzione della rete e al controllo e alla validazione dati riferiti al territorio provinciale).

1.3) Il servizio Agrometeorologico del CMT.

Il servizio Agrometeorologico (Fig. 3) del CMT elabora le informazioni che consentono agli operatori agricoli da un lato la programmazione delle attività colturali (trattamenti antiparassitari, diserbo, concimazioni, ecc.), dall'altro, la riduzione dell'impatto ambientale conseguente all'utilizzo di sostanze chimiche, in funzione dell'andamento meteorologico.

Vengono redatte e diffuse a tal fine note informative, i bollettini agrometeorologici, riguardanti l'andamento dell'annata agraria e gli interventi colturali più idonei, in relazione ai terreni (bilancio idrico) ed al rischio fitopatologico.

Tale servizio viene realizzato in collaborazione con La Direzione Fitosanitaria Regionale, Università, Strutture tecniche di sostegno, Associazioni di categoria, Cooperative e Consorzi.

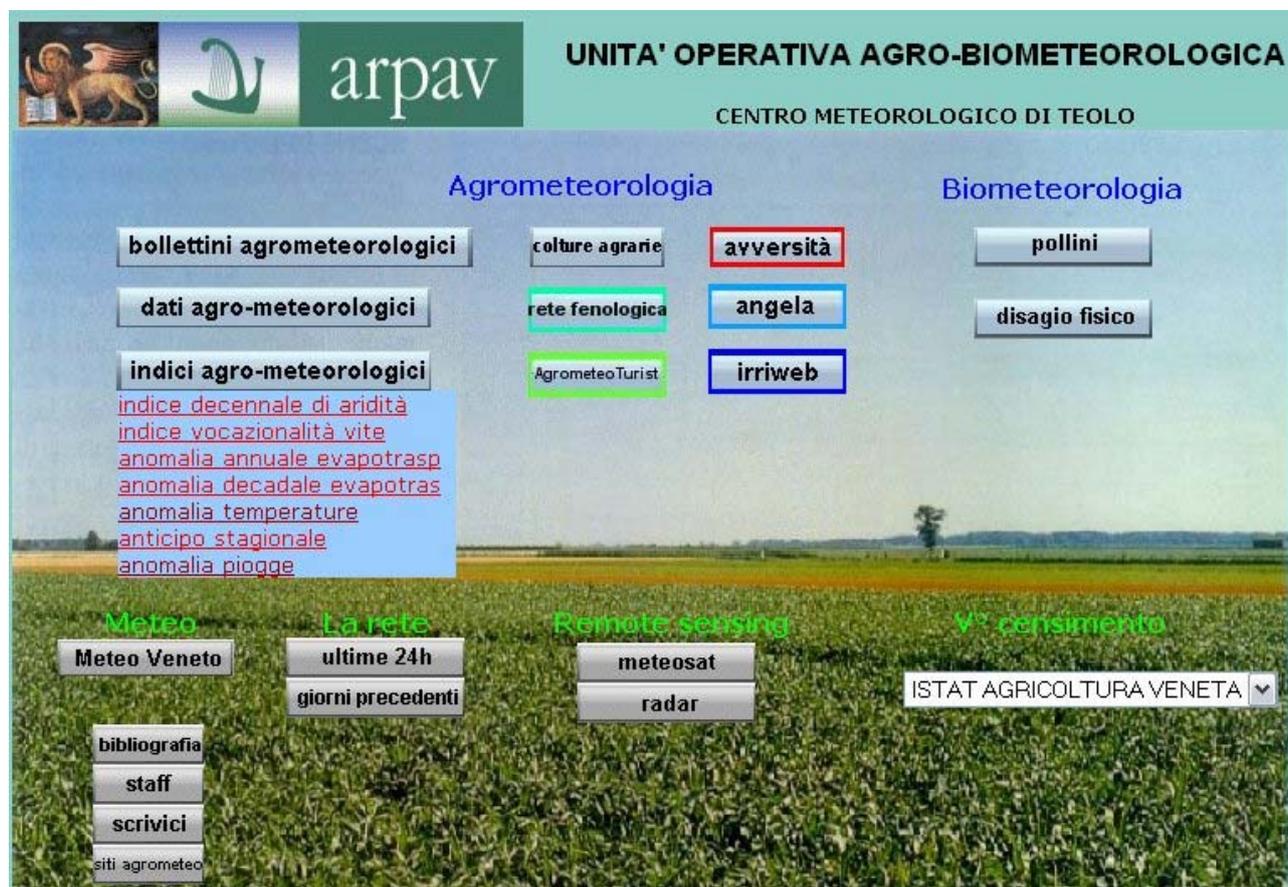


Fig. 3

Pagina iniziale del sito web del Centro meteorologico di Teolo.

1.4) Bollettini Agrometeorologici.

Le informazioni agrometeorologiche dall'Ufficio di agrometeorologia vengono rese disponibili tramite:

- Bollettino agrometeorologico provinciale, tri-settimanale, che associa alle previsioni meteorologiche le indicazioni agronomiche e fenologiche di interesse per il comparto agricolo; visualizzabile sul sito web (www.arpa.veneto.it/agrometeo.htm) e diffuso da diversi media (All. A);
- Bollettino "Agrometeo...informa", bi-settimanale, di carattere agronomico, redatto per 23 zone mirate distribuite sul territorio regionale; visualizzabile sul sito web e distribuito su richiesta per fax o per posta (All. B).

Questi bollettini agrometeorologici sono precisi e dettagliati e svolgono un servizio di informazione bisettimanale sulle condizioni meteorologiche e sulla influenza di queste nelle attività agricole, a disposizione di Aziende, Tecnici ed Enti operanti in agricoltura.

Il servizio è stato attivato in via sperimentale nel 1994, nell'ambito del progetto "Agrometeorologia per il bacino scolante nella Laguna di Venezia", ed è attualmente in via di ampliamento per nuove aree della Regione.

"Agrometeo... informa" è realizzato in collaborazione con la Direzione Fitosanitaria Regionale, con l'Università e con le Strutture di assistenza tecnica fitopatologica e interaziendale.

Nell'ambito dei vari settori colturali (frutticolo, viticolo, orticolo e colture estensive) il bollettino si occupa di irrigazione, di lavorazioni, di concimazione, di fitopatologia, di climatologia e delle problematiche connesse all'interazione dei fattori meteorologici con le pratiche colturali.

Il bollettino fornisce degli strumenti utili per fare un'agricoltura redditizia con il massimo rispetto dell'ambiente ponendo l'attenzione su:

- gestione della risorsa idrica;
- sorgenti inquinanti agricole di origine diffusa;
- corretta gestione degli input chimici;
- programmazione produttiva in funzione agroclimatica.

Secondo i dati diffusi da ARPAV, alla fine del 1995 gli utenti postali di "Agrometeo...informa" erano circa 2000 rappresentati da: Agricoltori, Tecnici ed Enti vari; al termine del 1996 il numero è aumentato a circa 4250; nel 1997 gli utenti sono stati 6000, nel 1998 sono diventati 7300 per raggiungere nel 2000 circa quota 8000. Inoltre 400 amministrazioni comunali ricevono il bollettino tramite "Posta elettronica". A queste cifre bisogna aggiungere anche un numero crescente di utenti che richiedono direttamente "Agrometeo...Informa" secondo la modalità "Fax su richiesta"; nel 1998 sono stati 1575 per salire a 1910 nel 2000.

1.5) Il servizio Rete di Telemisura.

La rete è composta da circa 200 stazioni automatiche per il monitoraggio del territorio e collegate in tempo reale con la centrale di acquisizione, Centro di Calcolo del CMT. Le stazioni finalizzate al supporto delle attività agricole sono oltre 60 e controllano la zona di pianura e le colline del Veneto. I dati vengono utilizzati per diversi scopi quali le previsioni meteorologiche, la modellistica di simulazione epidemiologica, i bilanci idrici per l'irrigazione, la climatologia, ecc.

La rete di monitoraggio, in relazione alle varie esigenze dei servizi forniti, presenta diverse tipologie di stazioni con differenti dotazioni di sensori.

Le tre principali tipologie di stazioni, in funzione dell'ambito territoriale, sono (Fig. 4):

- a) meteorologica;
- b) agrometeorologica;
- c) idrometrica.



Fig.4
Le tre tipologie principali di stazioni di monitoraggio.

Il monitoraggio quantitativo delle risorse idriche viene effettuato tramite l'Ufficio Idrologico di Belluno.

Oltre alla gestione operativa del sistema, che comprende le operazioni di acquisizione, validazione e archiviazione dati, tale settore si occupa della predisposizione di una serie di prodotti e servizi, legati a specifiche esigenze del bacino d'utenza.

La diffusione sull'intero territorio regionale risulta quella di seguito rappresentata, (Fig. 5):

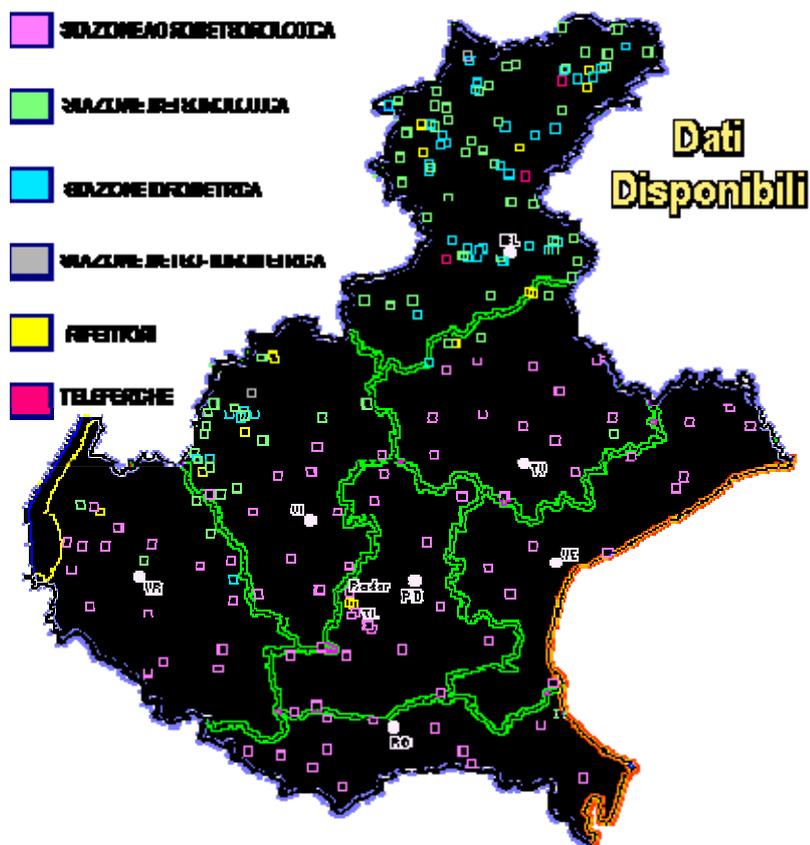


Fig. 5
Diffusione della Rete di Telemisura

SCOPO DELLA TESI

Come visto in precedenza, il Servizio Agrometeorologico dell'ARPAV fornisce numerosi servizi all'utenza finale. Essi si basano su serie storiche degli andamenti termo-pluviometrici che, attualmente, si riferiscono generalmente al periodo 1963-1990. Un obiettivo primario del Servizio è quindi quello di estendere le serie storiche di riferimento fino all'attualità, sfruttando i dati raccolti nel frattempo dalla nuova rete di Telemisura. La presente tesi si inserisce in questo quadro, puntando a fornire delle indicazioni preliminari sulle metodologie richieste per l'estensione delle serie storiche. Per questo studio si è fatto riferimento a nove stazioni diffuse un' pò in tutto il Veneto, ovvero: Asiago (VI), Auronzo (BL), Badia Polesine (RO), Bovolone (VR), Castelfranco Veneto (TV), Portogruaro (VE), Rovigo, Vicenza e Legnaro (PD, stazioni della Facoltà di Agraria dell'Università di Padova e CSIM-CMT, Fig 6, per le quali sono disponibili sia rilievi effettuati con strumentazioni classiche, di tipo meccanico che con strumentazioni elettroniche per un periodo di sovrapposizione sufficientemente esteso, 1992-2004).

I principali obiettivi del presente studio sono quindi stati:

- **raccolta, controllo e gestione di serie storiche di dati, su nove stazioni, necessarie per lo studio della variabilità temporale alle scale di interesse;**
- **confronto tra misurazioni effettuate da strumentazioni meccaniche e automatiche per il periodo 1956-2004;**
- **quantificazione della variabilità inter-annuale ;**
- **individuazione di termini di confronto di misure della temperatura effettuate dalle diverse strumentazioni;**
- **valutazione della possibilità di estendere le serie storiche;**
- **descrizione dell'evoluzione climatica generale negli ambienti del Veneto considerati e sue possibili ripercussioni a livello agrometeorologico.**

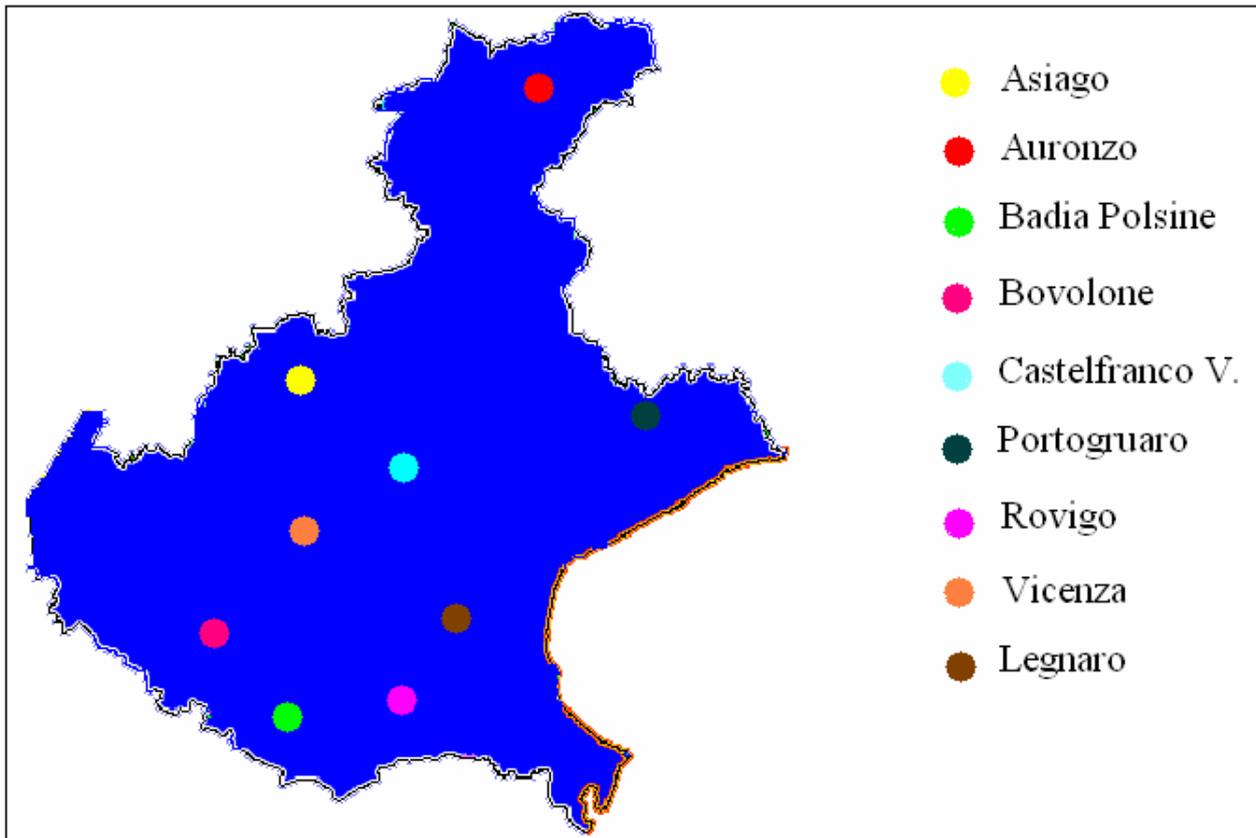


Fig. 6
Le nove stazioni di riferimento per questo studio.

MATERIALI E METODI

I dati utilizzati in questa tesi sono stati forniti dal Centro Meteorologico di Teolo, centro specializzato della Agenzia Regionale di Prevenzione e Protezione dell'Ambiente (ARPA) del Veneto, presso le quale è confluita la struttura che già faceva capo al Centro Sperimentale di Idrologia e Meteorologia (CISM) istituito dal Consiglio Regionale Veneto ed operante dal 1988.

I dati, riguardanti la temperatura minima e massima per ogni giorno dei vari periodi considerati, sono suddivisi in due serie, una meccanica ed una elettronica. Queste due serie differiscono per: epoca d'installazione, anni rilevati e località (quota, latitudine, longitudine). Sono riportate a fine capitolo due tabelle, una per gli strumenti meccanici (Tab. 1) ed una per gli strumenti elettronici (Tab. 2), riassuntive di tutte le informazioni riguardanti le diverse centraline, collocate, in tutto, in nove postazioni del Veneto. Nel confronto delle due tabelle è da tenere in considerazione che per una stessa stazione non sempre la targa assegnata alla centralina automatica è la stessa della corrispondente meccanica, in quanto essendo state attivate le automatiche in un periodo temporale successivo a quello delle meccaniche, per vari motivi in alcune stazioni è cambiata, anche se di poco, la località del posizionamento.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, le misurazioni meccaniche sono state effettuate da termografi meccanici di vario tipo, le automatiche da apparecchiature elettroniche rilevanti: temperatura dell'aria (°C), radiazione globale (W/mq), precipitazione (mm), umidità relativa (%), velocità del vento), direzione del vento, bagnatura fogliare (% tempo), temperatura del suolo. Per la temperatura, è presente un sensore a variazione di resistenza con precisione di +/- 0,15 °C e sensibilità < 0,1 (THERMISTORE da Thermally sensitive resistor), dove la resistenza elettrica nel semiconduttore varia con la temperatura con relazione non lineare. La linearizzazione viene ottenuta utilizzando insieme più resistori collegati tra loro ed associati a resistenze di valore stabilito (il sensore è protetto da schermo antiradiante in policarbonato a ventilazione naturale).

| NOME STAZIONE | TARGA | PROV. | FONTE | QUOTA | LAT. | LONG. | x | y | INIZIO RILIEVO | FINE RILIEVO | ANNI RILEVATI |
|-----------------|-------|-------|-----------|-------|---------|---------|---------|---------|----------------|--------------|---------------|
| Asiago | AS | VI | M.A. | 1046 | 45° 53' | 11° 30' | 1696146 | 5082296 | 1956 | 2004 | 48 |
| Auronzo | AU | BL | M.A. | 864 | 46° 34' | 12° 26' | 1765601 | 5159862 | 1956 | 2004 | 48 |
| Badia Polesine | BD | RO | M.A. | 11 | 45° 06' | 11° 29' | 1697129 | 4995764 | 1956 | 2004 | 48 |
| Bovolone | BV | VR | I.S.T | 24 | 45° 16' | 11° 07' | 1666005 | 5014669 | 1956 | 2004 | 48 |
| Castelfranco V. | CV | TV | M.A. | 44 | 45° 41' | 11° 56' | 1728503 | 5061905 | 1956 | 2004 | 48 |
| Portogruaro | PO | VE | M.A. | 6 | 45° 47' | 12° 50' | 1798002 | 5075223 | 1956 | 2004 | 48 |
| Rovigo | RO | RO | M.A. | 7 | 45° 04' | 11° 47' | 1717758 | 4995166 | 1956 | 2004 | 48 |
| Vicenza(A.M.) | VI | VI | A.M./M.A. | 53 | 45°35' | 11°31' | 1696285 | 5050754 | 1956 | 2004 | 48 |
| Legnaro | LE | PD | M.A. | 10 | 45° 21' | 11° 58' | 1731320 | 5025785 | 1956 | 2004 | 48 |

Tab. 1
Stazioni meccaniche considerate: locazione e durata del periodo di rilevazione.

| NOME STAZIONE | TARGA | PROV. | QUOTA | LAT. | LONG. | x | y | INIZIO RILIEVO | FINE RILIEVO | ANNI RILEVATI |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------------------|----------------|---------|---------|----------------|--------------|---------------|
| Asiago | AS | VI | 1010 | 45° 53' 00" | 11° 30' 36" | 1694770 | 5084245 | 1997 | 2004 | 7 |
| Auronzo | AU | BL | 850 | 46° 33' 27" | 12° 25' 39" | 1762673 | 5161627 | 1991 | 2004 | 13 |
| Castelnovo Bariano | CB | RO | 9 | 45° 01' 55" | 11° 19' 37" | 1681393 | 4988995 | 1992 | 2004 | 12 |
| Salizzole | SZ | VR | 23 | 45° 14' 25" | 11° 05' 18" | 1663858 | 5011680 | 1992 | 2005 | 13 |
| Castelfranco V. | CF | TV | 50 | 45° 41' 45" | 11° 56' 56" | 1729544 | 5064403 | 1992 | 2004 | 12 |
| Portogruaro Lison | PU | VE | 2 | 45° 44' 46" | 12° 45' 45" | 1792625 | 5072647 | 1992 | 2004 | 12 |
| Concadirame (Rovigo) | CO | RO | 6 | 45° 05' 38" | 11° 43' 18" | 1714116 | 4996900 | 1992 | 2003 | 11 |
| Quinto Vicentino | QU | VI | 33 | 45° 34' 12" | 11° 37' 53" | 1705283 | 5049560 | 1992 | 2005 | 13 |
| Legnaro | LE | PD | 8 | 45° 20' 52" | 11° 57' 12" | 1731313 | 5025746 | 1992 | 2005 | 13 |

Tab. 2
Stazioni automatiche: locazione e durata del periodo di rilevazione.

ANALISI DATI

Essendo il confronto tra le misure effettuate dalle strumentazioni meccaniche e le automatiche, per il periodo 1956-2004, lo scopo di questo lavoro, e non avendo a disposizione alcun set di dati rilevati dalle nuove attrezzature riferiti agli anni 1956-1992 circa, si è utilizzata la serie temporale di dati acquisiti tra il 1992 e il 2004 per la quale risultano disponibili entrambe le misure, elettronica (ARPAV-CSIM) e meccanica.

A tal fine sono state comparate le due serie tramite analisi di regressione lineare, utilizzando le temperature misurate con gli strumenti elettronici come variabile dipendente e quelli rilevati con gli strumenti meccanici come variabile indipendente. Si sono così ricavati dei coefficienti di regressione (“a”, “b”), utilizzati poi per correggere i dati rilevati nel periodo in cui erano disponibili solo i dati delle stazioni meccaniche (periodo 1956-’92), in modo da standardizzarli ed omogeneizzarli con la serie storica più recente (elettronica).

La formula che ha permesso di risalire ai dati mancanti è la seguente:

$$T_e = a + b \cdot T_m$$

Dove “a” e “b” sono rispettivamente intercetta e pendenza e “T_m” è il valore di temperatura di quel particolare giorno per il quale si è voluto ricavare “T_e”, ovvero il corrispondente elettronico.

Sulla serie storica corretta 1956-2004 si è quindi determinato il trend di variazione della temperatura media annua, separatamente per i valori massimi e minimi. Si è considerato che in una prima fase le temperature medie annue fossero grossomodo costanti e che solo da un determinato anno in poi si sia iniziato ad avvertire l’effetto delle modificazioni climatiche.

Il modello impiegato è quindi il seguente:

$$\begin{aligned} T_m &= k && \text{se } x \leq \text{Anno_limite} \\ T_m &= a + b \cdot x && \text{se } x > \text{Anno_limite} \end{aligned}$$

dove “x” è il numero di anni intercorsi dall’inizio delle misure, “Anno_limite” è il numero progressivo dell’anno in cui si inizia ad avvertire il cambiamento climatico e “k” è la temperatura media del periodo antecedente al cambiamento climatico.

Si è successivamente valutato l’effetto delle modificazioni ambientali sullo sviluppo potenziale di mais e frumento, facendo riferimento a due fasi fenologiche basilari del ciclo di sviluppo (fioritura e maturazione fisiologica), utilizzando la serie storica corretta (1956-1989) e quella più recente (1990-2000).

Per il frumento si è considerata una semina nella prima decade di ottobre mentre per il mais si è fatto riferimento ad un ibrido classe FAO 600 seminato nella seconda decade di marzo (semina anticipata). Sulla base delle serie storiche considerate si è calcolato quindi l’andamento dell’accumulo di gradi utili di temperatura (Heat Units – HU °C), con la seguente formula:

$$HU = \begin{cases} T_m - T_b & \text{se } T_m > T_b \\ 0 & \text{se } T_m \leq T_b \end{cases}$$

dove le temperature di base (il cosiddetto zero vegetazionale) da letteratura sono rispettivamente pari a $T_b = 0$ per il frumento e $T_b = 8$ per il mais, utilizzando le diverse serie storiche disponibili, “ T_m ” è la temperatura media giornaliera e “ T_b ” la temperatura di base per la coltura considerata.

Le temperature di base e le somme termiche necessarie per la fioritura e la maturazione fisiologica considerate sono riportate nella Tab. 3.

| Coltura | Tb (°C) | Σ HU per la fioritura (°C giorno) | Σ HU per la maturazione (°C giorno) |
|----------|---------|---|---|
| Frumento | 0 | 1200 | 2250 |
| Mais | 8 | 820 | 1750 |

Tab. 3

Principali parametri fenologici considerati.

RISULTATI

5.1) Relazione tra dati meccanici e dati automatici.

Per analizzare i primi risultati è necessario innanzitutto aprire una piccola parentesi sulla tecnica statistica utilizzata per la loro comprensione, ovvero l'utilizzo della regressione lineare.

La regressione permette di trovare la relazione che lega due variabili, in questo caso una indipendente ("x", i valori di temperatura relativi alla serie meccanica, 1956-1992) ed una dipendente ("y", i valori relativi alla serie elettronica 1992-2004), studiando la retta $y = a + b \cdot x$ che mette appunto in relazione le "x" con le "y".

I valori "a" e "b" indicano rispettivamente l'intercetta e la pendenza angolare; secondo un ipotetico modello ideale, cioè nel caso in cui ci fosse una perfetta correlazione tra le due serie di dati, "a" dovrebbe passare per l'origine, quindi essere pari a zero, e "b" pari ad uno, come illustrato nella Fig 7.

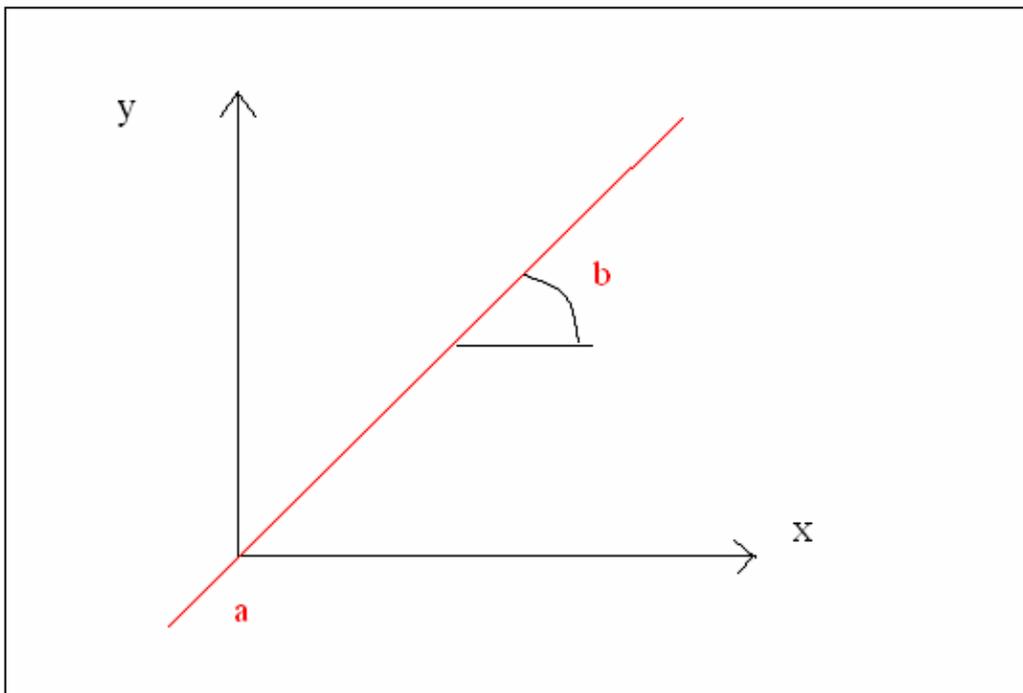


Fig 7
Modello ideale di regressione semplice.

I primi risultati si possono quindi trarre dallo studio dei parametri delle regressioni tra le due serie di misure considerate, (Tab. 4):

| STAZIONE | parametro | a | b | R2 | media(°C) |
|----------------|-----------|--------|-------|-------|-----------|
| Asiago | Tmax | 0,525 | 0,923 | 0,947 | 13,5 |
| Auronzo | Tmax | 1,222 | 0,890 | 0,871 | 14,3 |
| Badia Polesine | Tmax | 0,315 | 0,986 | 0,971 | 18,7 |
| Bovolone | Tmax | 0,226 | 0,998 | 0,974 | 18,6 |
| Castelfranco | Tmax | 1,972 | 0,929 | 0,881 | 19,0 |
| Legnaro | Tmax | 0,476 | 0,958 | 0,992 | 18,7 |
| Portogruaro | Tmax | -0,645 | 0,976 | 0,951 | 19,7 |
| Rovigo | Tmax | 0,824 | 0,913 | 0,914 | 19,5 |
| Vicenza | Tmax | 0,873 | 0,926 | 0,888 | 19,5 |
| Asiago | Tmin | -2,193 | 1,013 | 0,920 | 2,7 |
| Auronzo | Tmin | -0,643 | 0,920 | 0,927 | 2,5 |
| Badia Polesine | Tmin | -0,190 | 0,926 | 0,954 | 8,9 |
| Bovolone | Tmin | -0,355 | 0,976 | 0,956 | 9,2 |
| Castelfranco | Tmin | -1,896 | 0,994 | 0,916 | 9,2 |
| Legnaro | Tmin | 0,420 | 0,897 | 0,987 | 8,6 |
| Portogruaro | Tmin | -1,359 | 0,945 | 0,921 | 9,5 |
| Rovigo | Tmin | 0,366 | 0,910 | 0,925 | 8,8 |
| Vicenza | Tmin | -0,070 | 0,951 | 0,937 | 7,9 |

Tab. 4

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

Si vede che tutte le stazioni, sia nel caso di Tmin che di Tmax, riportano dei valori di “b” molto prossimi ad uno, indicando quindi una buona correlazione.

Si può notare, però, una leggera tendenza da parte della strumentazione meccanica a sovrastimare i dati di temperatura rispetto alla strumentazione elettronica, (“b” < 1).

I valori di “a” sono in genere prossimi allo 0, ma in alcuni casi sono stati ricavati scostamenti tra gli 1,0-2,2 °C. In questi casi, il parametro indica problemi di taratura delle strumentazioni meccaniche, con presenza di una deviazione sistematica dei valori.

Le temperature minime e massime, rilevate nel periodo che parte dall’anno 1956 e termina con l’inizio delle misure elettroniche, sono state quindi corrette per ogni stazione sulla base della specifica regressione, ottenendo delle nuove serie storiche, per il periodo 1956-2004, costituite dai dati corretti nel periodo in cui erano disponibili i soli dati meccanici e poi da quelli rilevati con le nuove stazioni automatiche. Queste serie storiche sono state utilizzate per le successive analisi.

5.2) Analisi dell'evoluzione della temperatura nel periodo 1956-2004.

Le serie storiche corrette sono state studiate tramite un modello di regressione lineare a due stadi, come indicato precedentemente. Questo modello permette di stimare la temperatura media nel periodo antecedente l'inizio della variazione climatica, l'anno in cui si evidenzia il passaggio ad una fase di evoluzione delle temperature ed il trend di variazione in questa fase.

L'analisi è stata effettuata per le diciotto serie disponibili (nove località per due parametri, Tmin e Tmax).

In tutte le serie si è potuto identificare un trend crescente, anche se l'entità di questo trend ed il momento di passaggio dalla fase di stabilità climatica a quella di incremento delle temperature ha evidenziato una certa variabilità (Fig.8 e Tab.5).

In circa due terzi dei casi, comunque, l'inizio della variazione climatica è situabile negli anni ottanta (Fig. 8 e Figure da 9 a 17).

Per quanto riguarda il trend di incremento, i valori sono più uniformi per la Tmax che per la Tmin (Fig. 18), ma i valori mediani per questi due parametri sono sostanzialmente coincidenti.

Il trend mediano nell'areale considerato può quindi essere stimato pari a $0,082 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{anno}$, sia per le massime che per le minime.

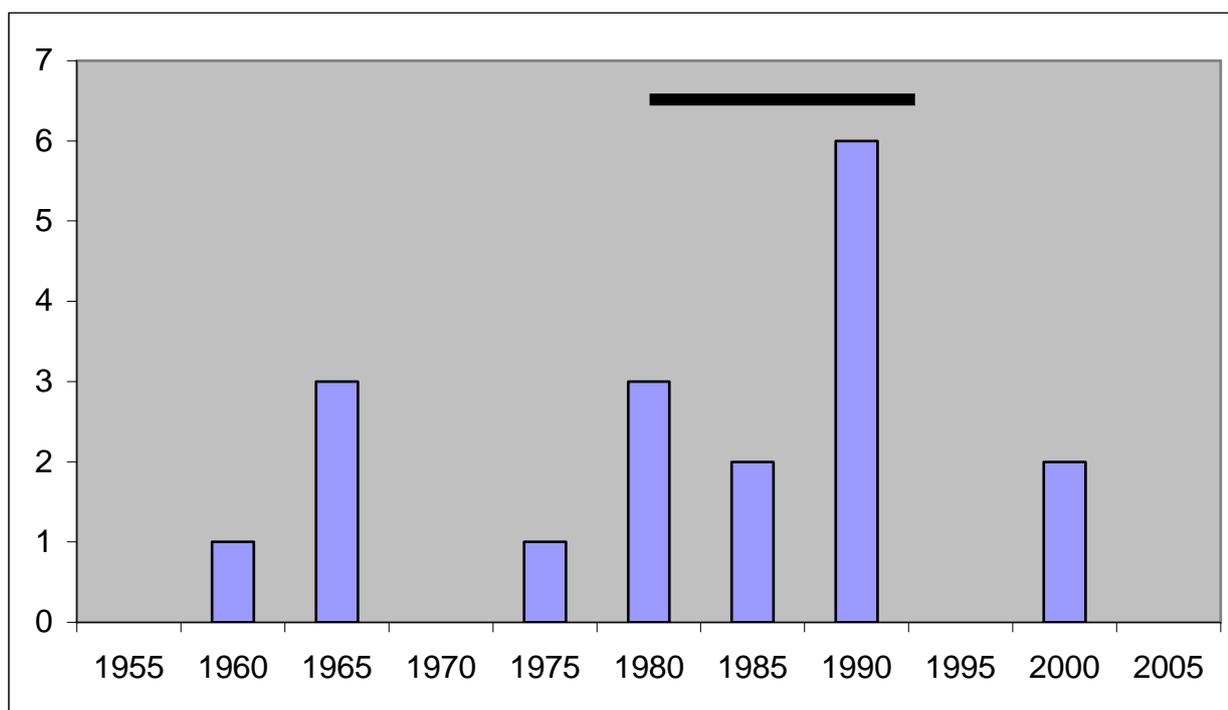


Fig 8
Variazione dei trend di temperatura.

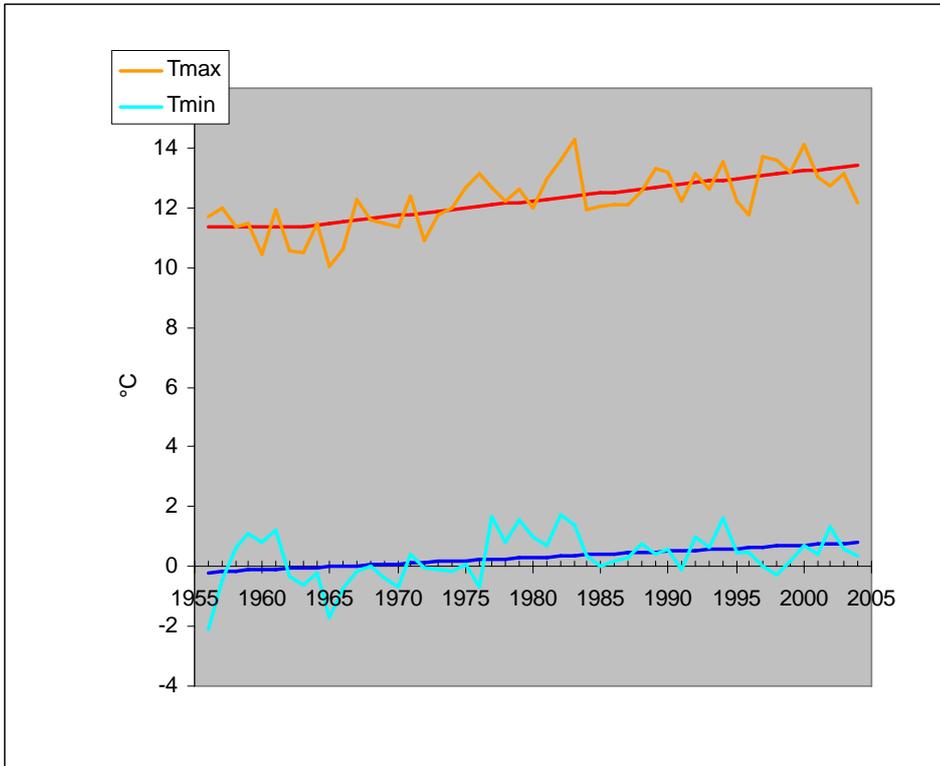


Fig.9
Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Asiago.

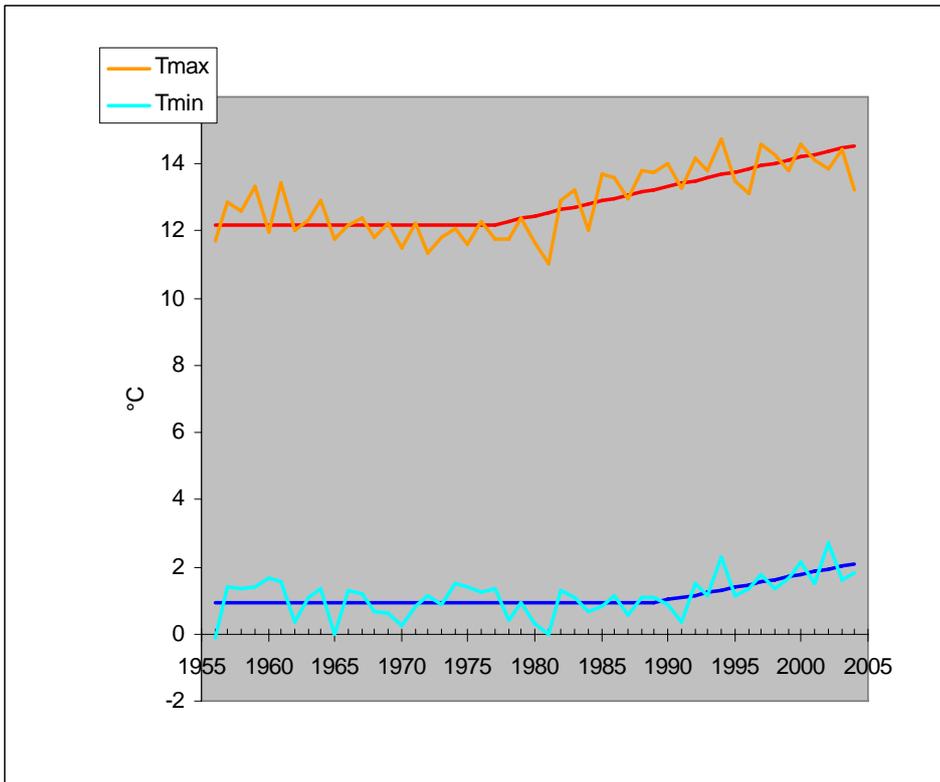


Fig.10
Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Auronzo.

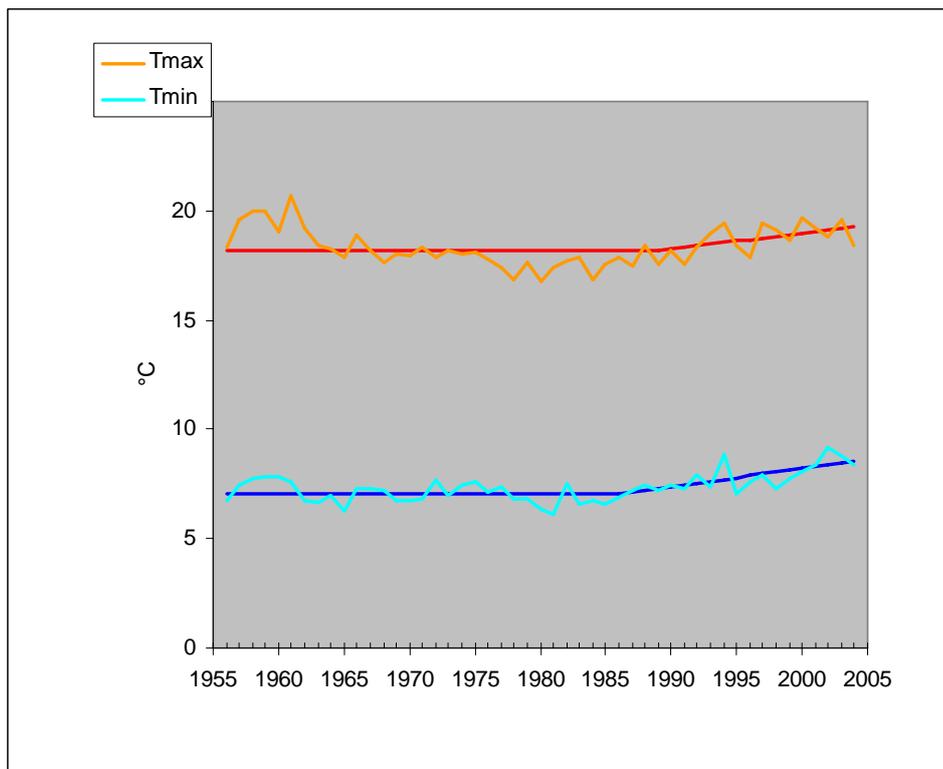


Fig.11
Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Badia Polesine.

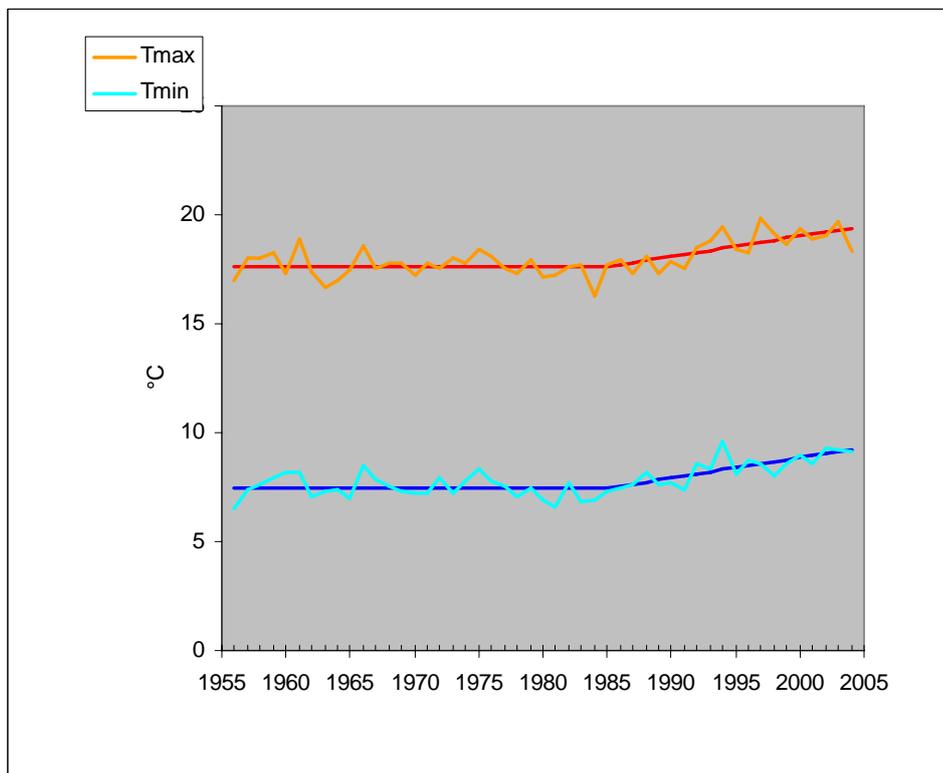


Fig.12

Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Bovolone

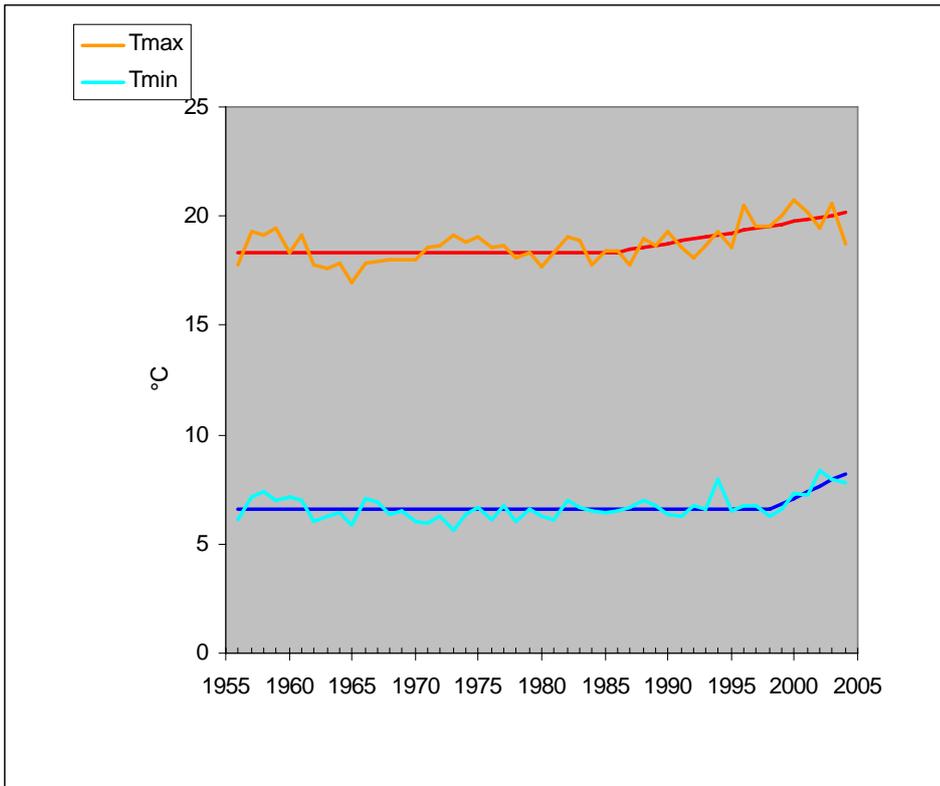


Fig.13

Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Castelfranco Veneto.

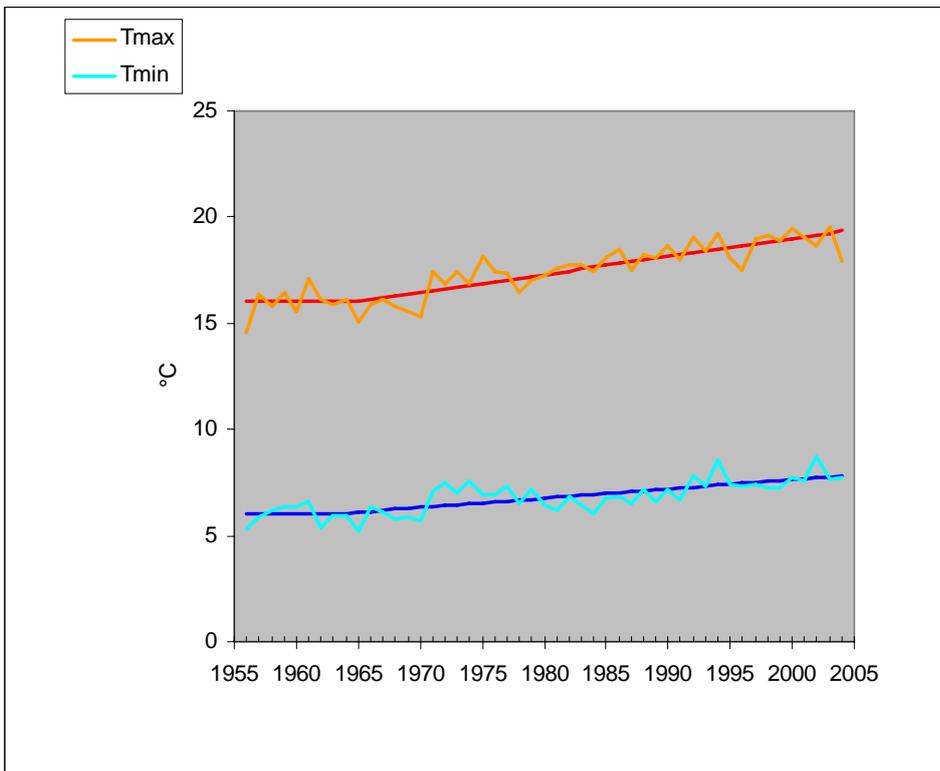
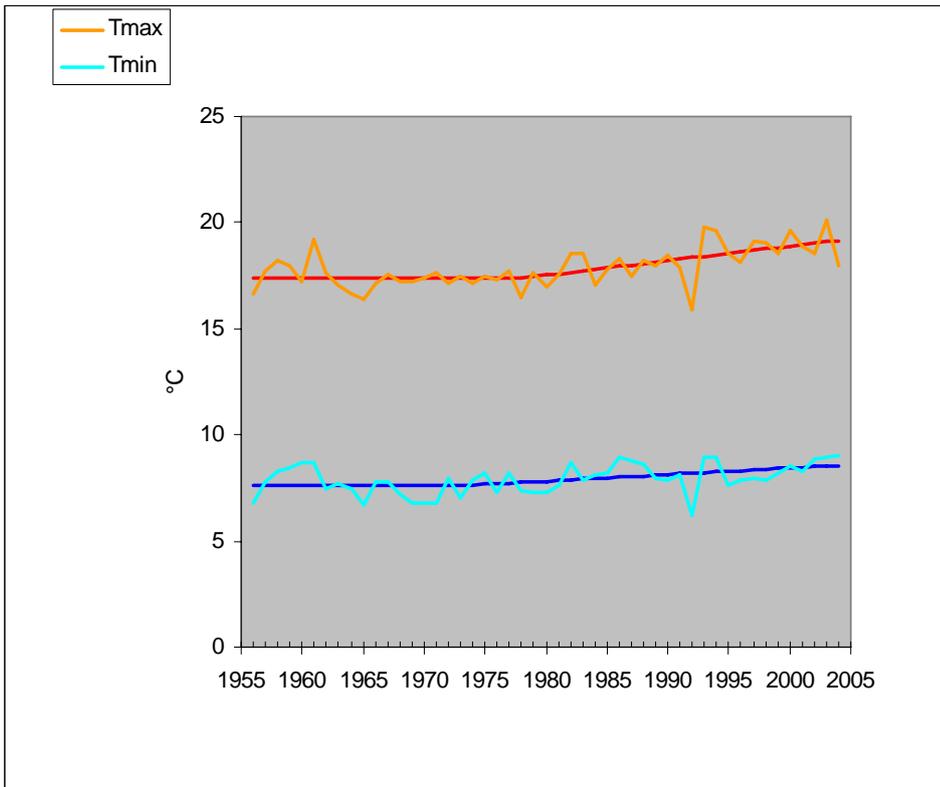


Fig.14



Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Portogruaro.

Fig.15

Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Rovigo.

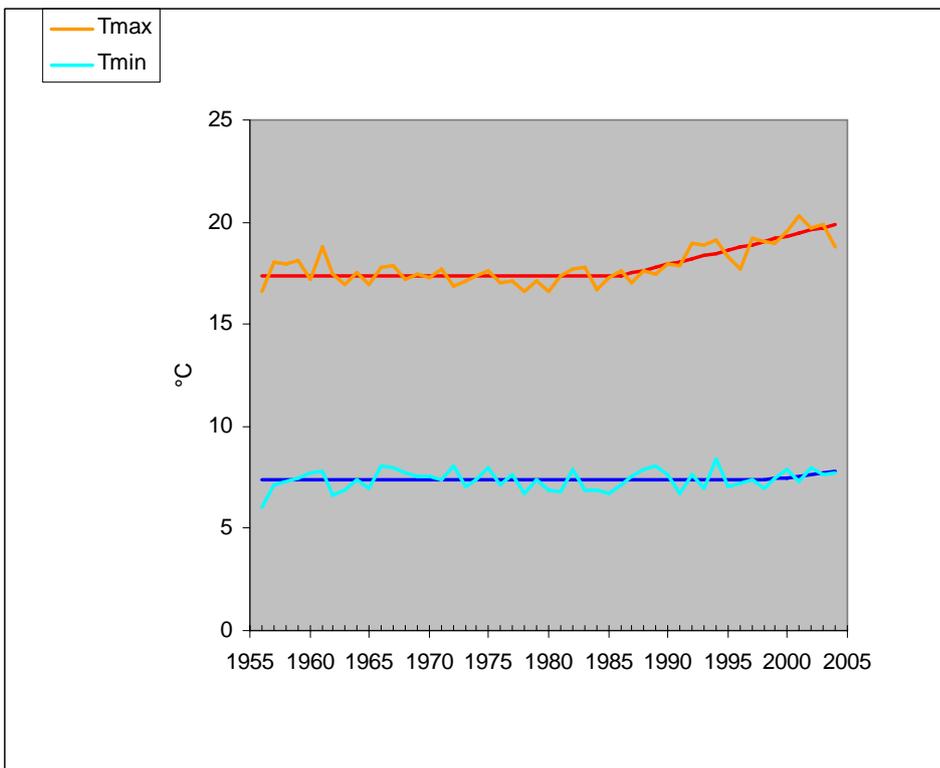


Fig.16

Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Vicenza.

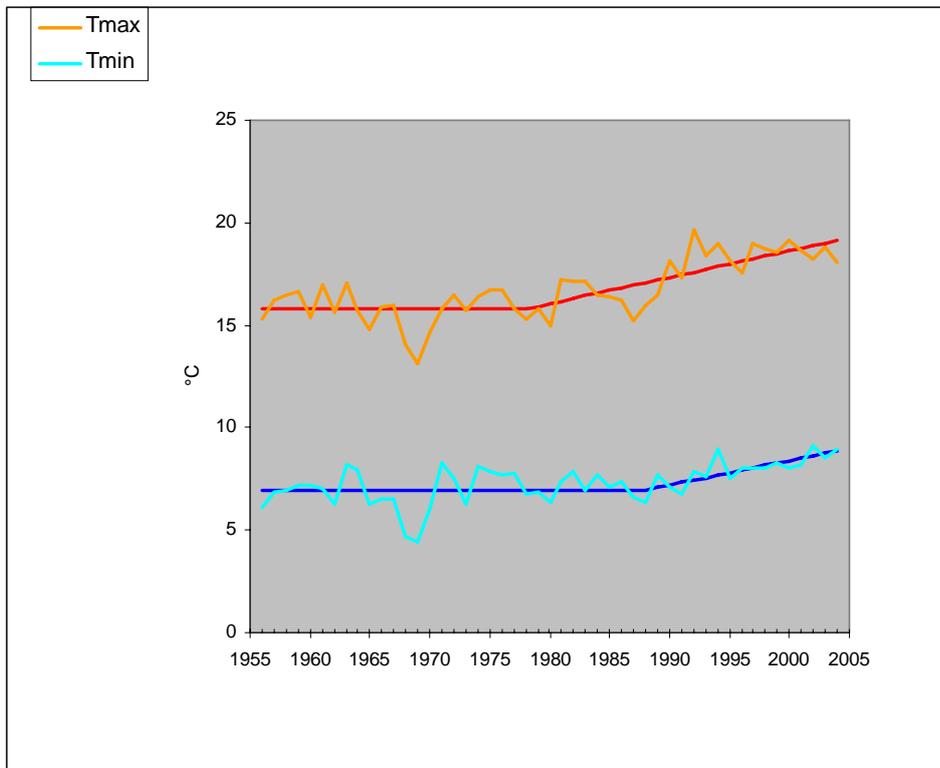


Fig.17
Evoluzione del trend di temperatura per le minime e le massime alla stazione di Legnaro.

| STAZIONE | quota | anno Tmin | anno Tmax | med 1 | a |
|----------------|-------|-----------|-----------|----------|----------|
| Asiago | 1046 | 1956 | 1962 | 11,34223 | 0,049606 |
| Auronzo | 864 | 1989 | 1977 | 12,18727 | 0,087629 |
| Badia Polesine | 11 | 1986 | 1989 | 18,17558 | 0,073884 |
| Bovolone | 24 | 1985 | 1985 | 17,62571 | 0,090456 |
| Castelfranco | 44 | 1998 | 1986 | 18,36567 | 0,099228 |
| Portogruaro | 6 | 1963 | 1956 | 15,52475 | 0,076618 |
| Rovigo | 7 | 1971 | 1978 | 17,21584 | 0,07938 |
| Vicenza | 53 | 1998 | 1986 | 17,37679 | 0,137841 |
| Legnaro | 10 | 1988 | 1978 | 15,78202 | 0,12445 |

Tab. 5
Anni di cambio trend delle nove stazioni.

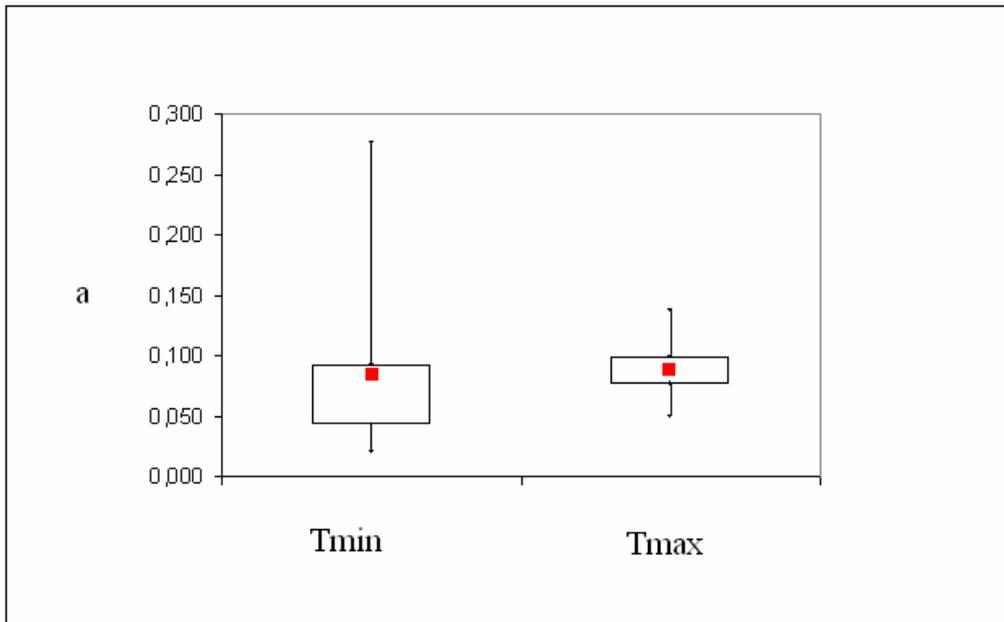


Fig 18
Grafico “Box and Whiskers”.

5.3) Implicazioni agrometeorologiche delle modifiche climatiche.

La presenza di un trend di aumento della temperatura ha notevoli effetti sull’ambiente e nel settore agrario. Si è quindi voluto evidenziare l’effetto sulle variazioni climatiche sulla dinamica annuale delle temperature e sul ritmo di sviluppo di alcune colture tipo.

Calcolando inoltre, in un primo momento la media giornaliera delle minime e delle massime rispettivamente per le tre serie storiche 1956-2004 (ricavata tramite correzione della serie meccanica), 1956-1989 e 1990-2004, e in un secondo momento facendo la differenza tra i valori della seconda e della terza serie di giorno in giorno, calcolando successivamente la media dei risultati ottenuti per ogni decade, si sono ottenuti due grafici, uno per la temperatura minima nelle nove stazioni, Fig 9, e uno per la massima, Fig 10, che mostrano le differenze di temperatura fra la serie vecchia e quella nuova.

Dai grafici si può notare dove in media nell’anno ci sono delle anomalie di comportamento rispetto alla vecchia serie.

Nel caso del primo grafico si nota un evidente aumento della temperatura minima media, dai 0,5 °C ai 2 °C, a partire da aprile fino all’autunno compreso, verificatosi negli ultimi quindici anni.

Nel caso, invece, del secondo grafico, si nota un sostanziale aumento delle massime pressappoco nel corso di tutto l’anno, a parte qualche normale variazione stagionale.

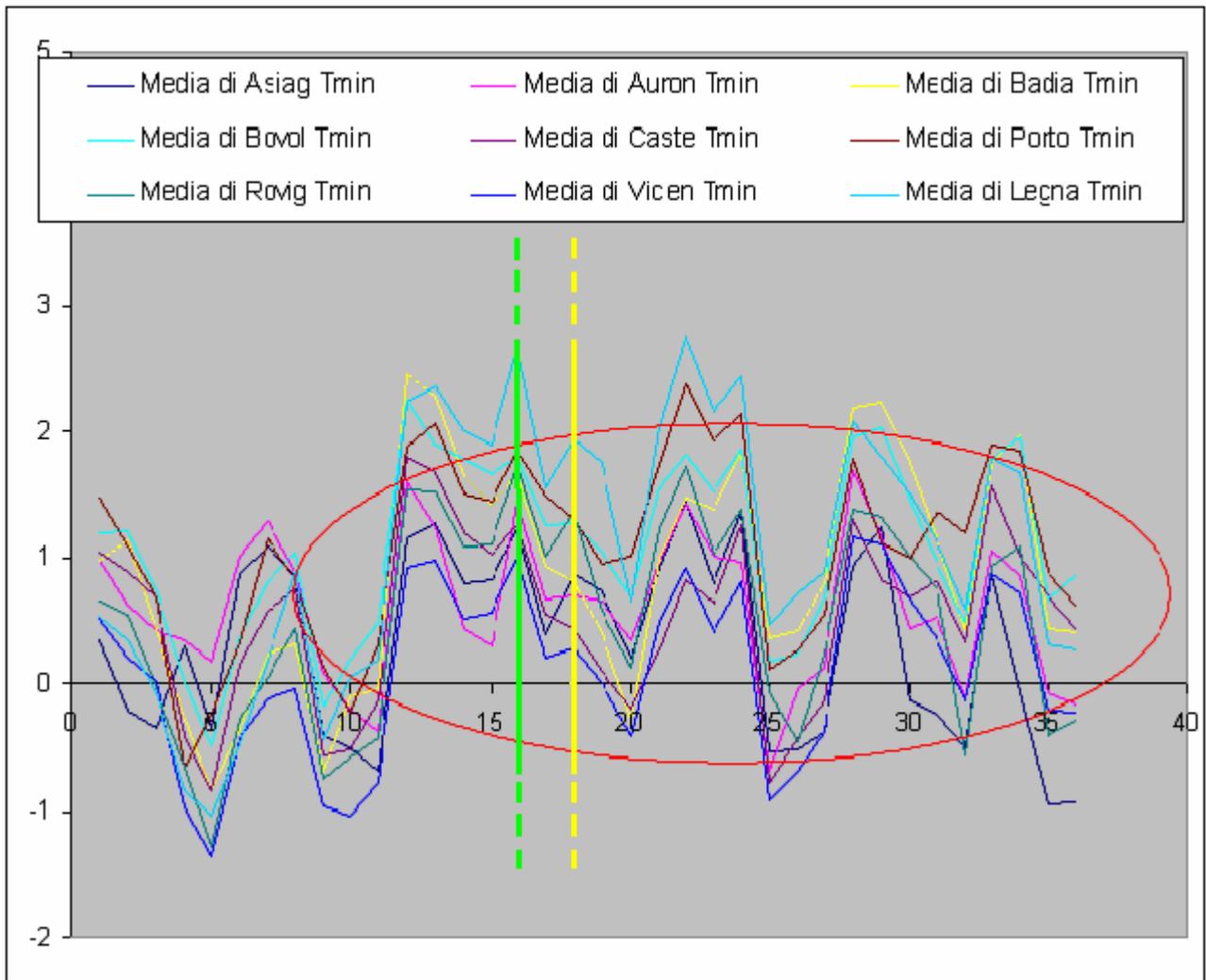


Fig 19: differenze tra temperature minime (medie decadiche) dei periodi 1990-2004 e 1956-1989.

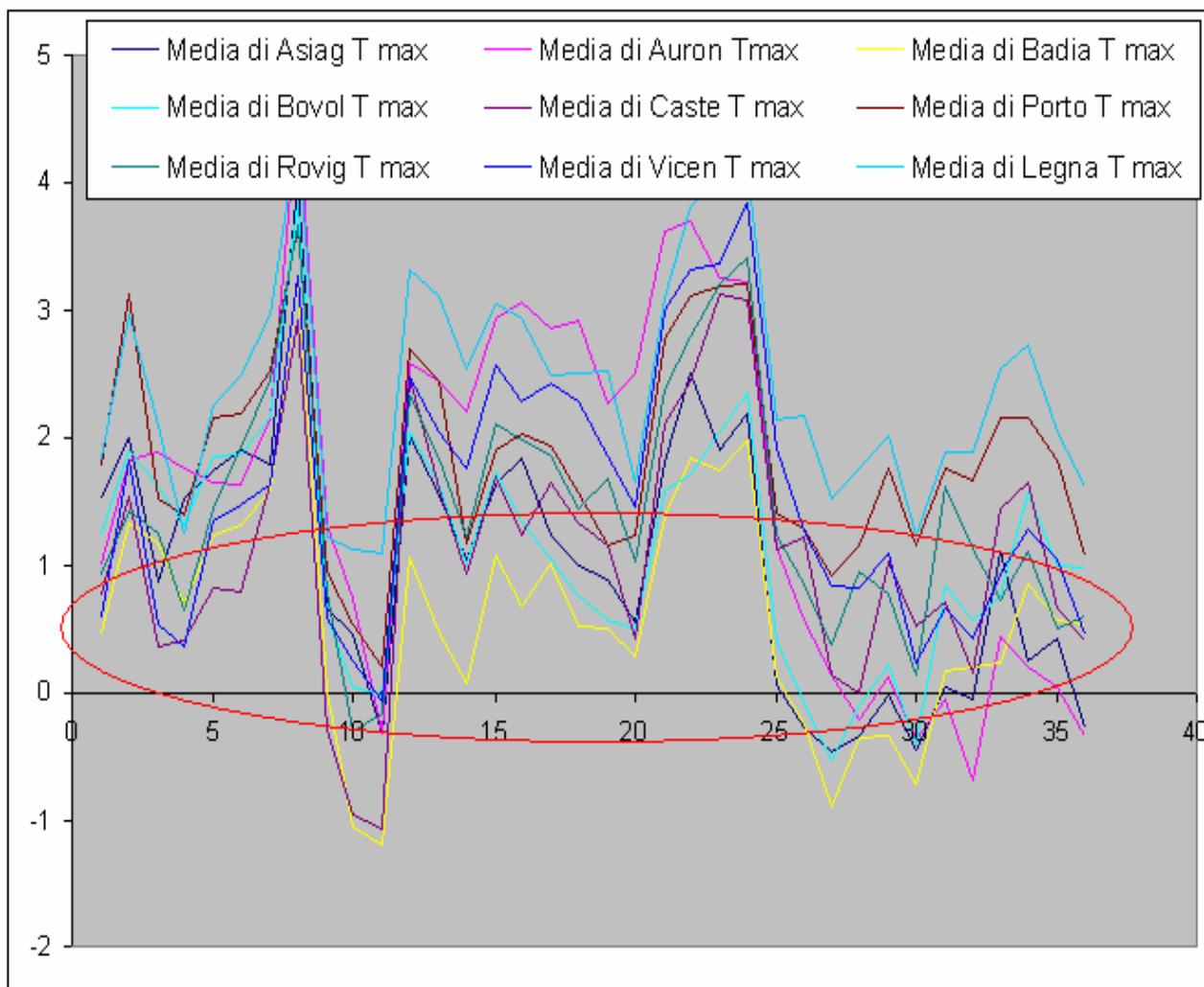


Fig 20: differenza tra temperature massime (medie decadiche) dei periodi 1990-2004 e 1956-1989.

La variazione del trend di temperatura permette, inoltre, la lettura di un ulteriore risultato, riguardante le modifiche della durata delle fasi fenologiche di fioritura e maturazione di mais e frumento.

Attraverso un calcolo, prima per la serie storica 1956-1989, poi per la serie 1990-2004 dei GDD, Growing Degree Days, ovvero gradi utili di temperatura, medi giornalieri in questo caso, al di sopra di una certa soglia che sono disponibili ogni giorno per la crescita e la maturazione della pianta accumulati a partire dal giorno della semina, sono stati ricavati una tabella, Tab. 6, e dei grafici, rappresentanti l'anticipo della fioritura e della maturazione verificatesi a partire dagli anni novanta per le due colture.

| | FIORITURA | | MATURAZIONE | |
|--------------|-----------|------|-------------|------|
| | frumento | mais | frumento | mais |
| Asiago | -10 | | -18 | |
| Auronzo | -13 | | -20 | |
| Badia P | -12 | -4 | -9 | -10 |
| Bovolone | -14 | -7 | -13 | -15 |
| Castelfranco | -16 | -6 | -9 | -13 |
| Portogruaro | -24 | -11 | -19 | -28 |
| Rovigo | -9 | -7 | -13 | -17 |
| Vicenza | -13 | -7 | -9 | -17 |
| Legnaro | -24 | -15 | -20 | -42 |
| media | -15 | -8,1 | -14,4 | -19 |

Tab. 6

Giorni di differenza delle date di fioritura e maturazione di mais e frumento tra gli anni 1956-1989 e gli anni 1990-2004. I numeri nelle celle riportano tutti segno negativo in quanto rappresentano l'anticipo delle due fasi fenologiche prese in considerazione.

Dalla Tab. 6 emerge che, nel caso del frumento, la serie storica più recente indica un anticipo consistente, in entrambe le fasi fenologiche della pianta, pari, in media, a mezzo mese. Lo stesso discorso vale nel caso del mais, per il quale, in media, la fioritura avviene, oggi, una decina di giorni prima rispetto alla serie storica 1956-1989, e la maturazione una ventina circa.

I casi più esemplificativi di questo fenomeno, come si può ben vedere dalle figure 21, 22, 23 e 24 sono Portogruaro e Legnaro, dove si nota, per il frumento, una fioritura anticipata di 24 giorni e una maturazione precoce di, rispettivamente, 19 e 20 giorni, e, per il mais, nel caso della maturazione, addirittura rispettivamente 28 e 42 giorni.

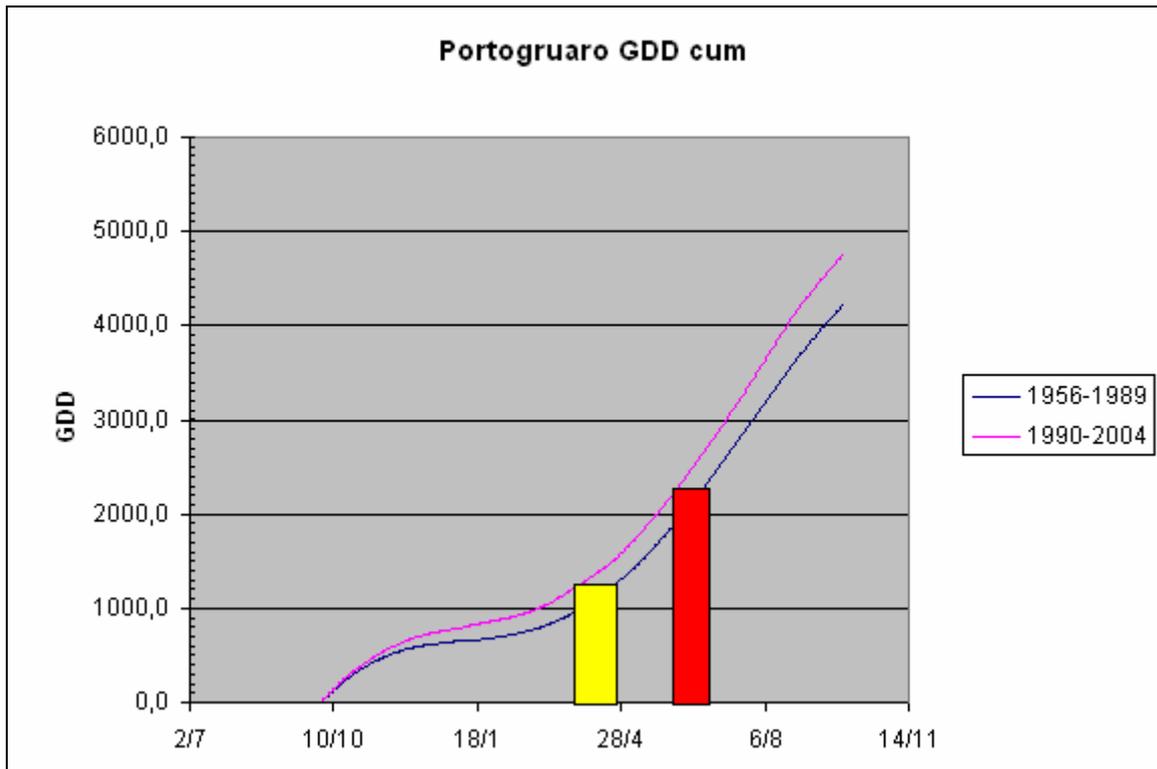


Fig. 21

Ritardo nella fase di fioritura (rettangolo giallo) e maturazione (rettangolo rosso) per il frumento registrato dalla stazione di Portogruaro.

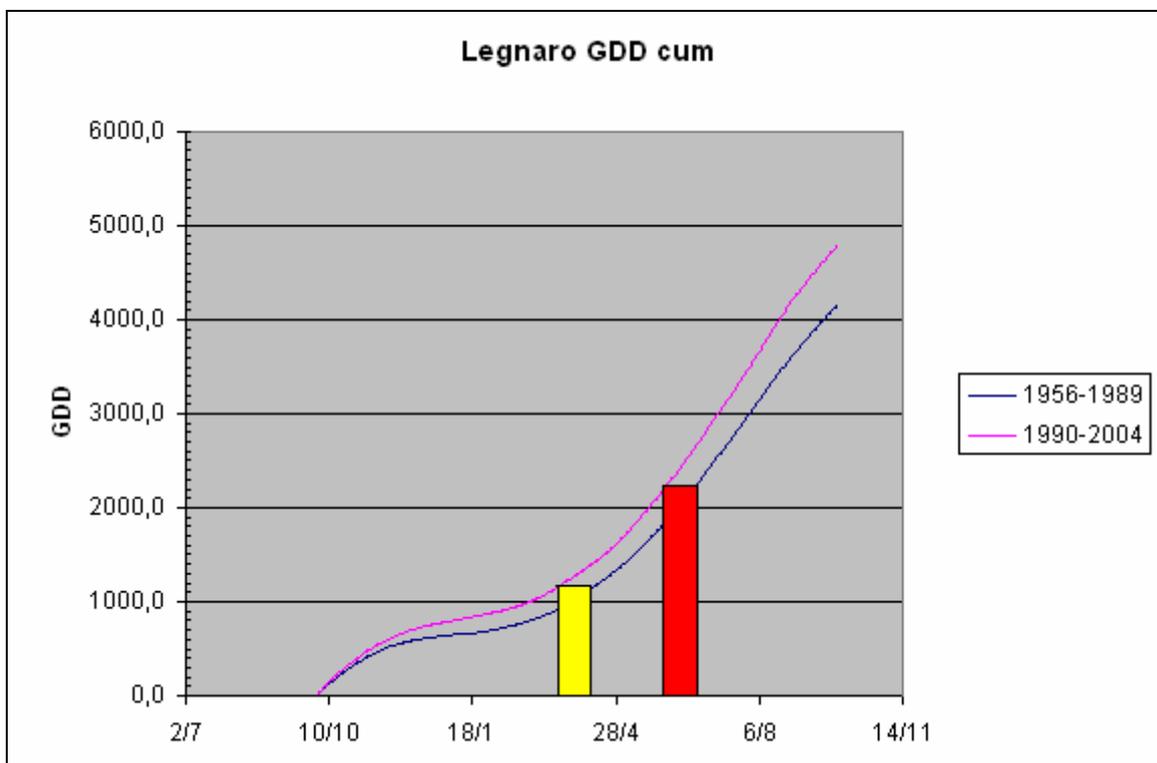


Fig. 22

Ritardo nella fase di fioritura (rettangolo giallo) e maturazione (rettangolo rosso) per il frumento registrato dalla stazione di Legnaro.

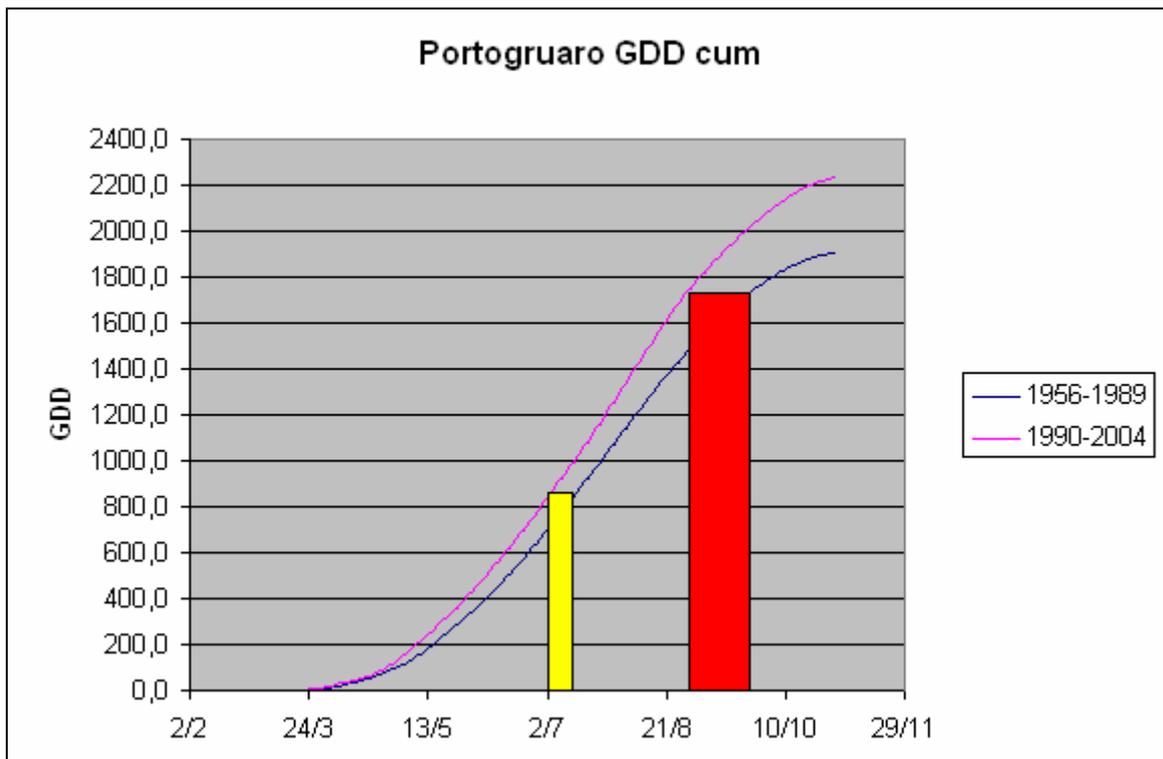


Fig. 23
Ritardo nella fase di fioritura (rettangolo giallo) e maturazione (rettangolo rosso) per il mais registrato dalla stazione di Portogruaro.

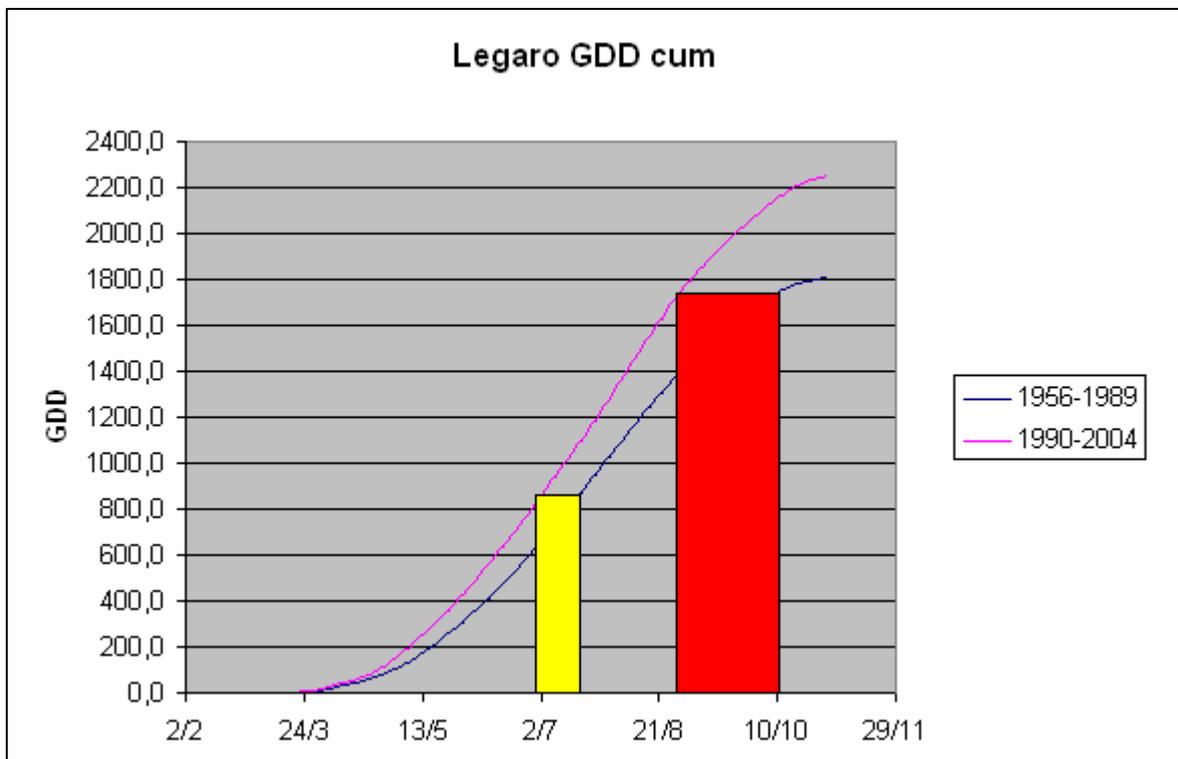


Fig. 24
Ritardo nella fase di fioritura (rettangolo giallo) e maturazione (rettangolo rosso) per il mais registrato dalla stazione di Legnaro.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

- 1) Analisi delle serie storiche: l'assenza di un'unica serie storica per il periodo 1956-2004 ha fatto sorgere la necessità di standardizzare i dati per permetterne l'estensione e lo studio su periodi prolungati. Tra le strumentazioni meccaniche e le nuove strumentazioni elettroniche, infatti, si è evidenziata una differenziazione di risposta sistematica, con una tendenza delle vecchie strumentazioni meccaniche a dare letture superiori a quelle delle strumentazioni elettroniche. L'estensione delle serie storiche disponibili con i dati ricavati negli ultimi anni dalla rete del Servizio Agrometeorologico non può quindi essere fatta senza considerare queste differenze.
- 2) Stabilità delle relazioni tra strumenti meccanici ed elettronici: i valori di pendenza piuttosto omogenei indicano che le strumentazioni impiegate avevano effettivamente caratteristiche e modalità di risposta simili. La differenza nei valori dell'intercetta indica però che le correzioni devono essere fatte con relazioni specifiche per ogni situazione. Probabilmente le differenze sono legate alla modalità ed alla frequenza di calibrazione degli strumenti meccanici.
- 3) Variazioni climatiche: i dati confermano anche a scala locale le osservazioni fatte a livello planetario (IPCC, 2001) con un trend di incremento della temperatura piuttosto consistente (attorno a $0,082\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{anno}$ nell'ultimo quindicennio), Figure 25 e 26:

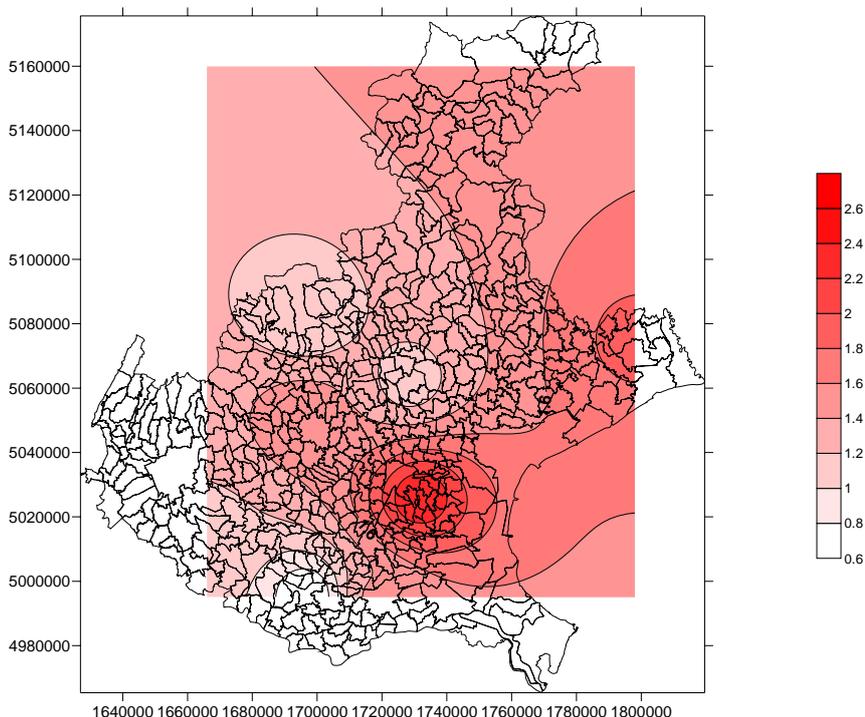


Fig. 25

Incremento delle temperature massime negli ultimi 15 anni in Veneto.

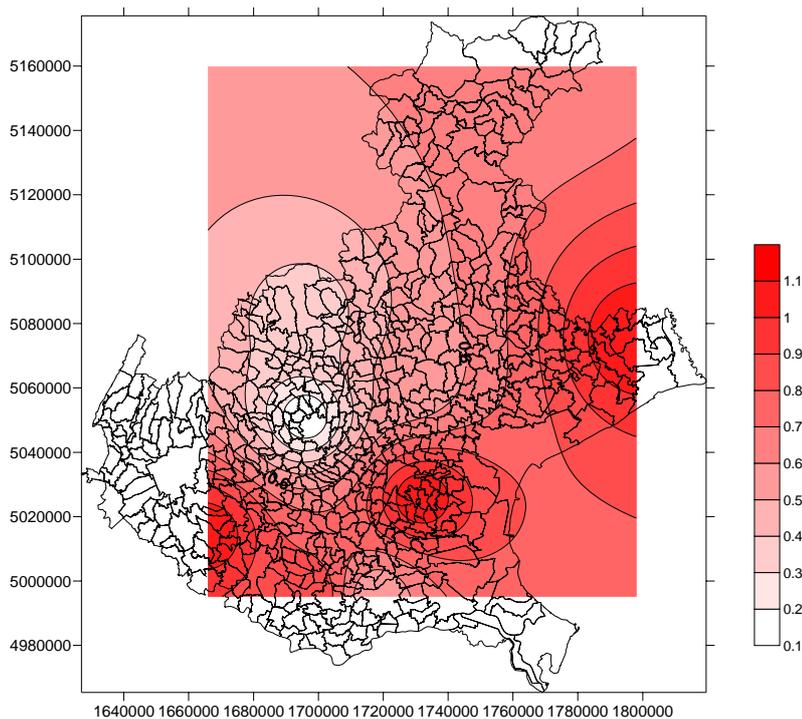


Fig. 26

Incremento delle temperature minime negli ultimi 15 anni in Veneto.

- 4) Effetti sulla fenologia: si ha ovviamente un anticipo delle fasi fenologiche, ma, dato l'andamento annuale delle differenze tra la serie recente e quella precedente, l'effetto è diverso per colture con cicli differenti, Figure 27, 28, 29 e 30. Nelle colture autunno-vernine la durata della fase fioritura-maturazione è grossomodo costante. L'anticipo è quindi sostanzialmente dovuto alla precoce fioritura, dovuta ad una più rapida ripresa vegetativa a fine inverno-inizio primavera (Fig.21, 22). Per le colture estive, invece, l'anticipo della maturazione è nettamente superiore a quello della fioritura, segno che è tutto il ciclo ad essersi accorciato (Fig. 23, 24).

In particolar modo nel caso del mais (coltura estiva), l'anticipo della fioritura risulta, in un primo momento, essere un vantaggio, in quanto la pianta cade con minor difficoltà in condizioni di stress idrico. Qualora però, in questo periodo ci si dovesse trovare in condizioni di caldo elevato e scarsità d'acqua, si andrebbe facilmente incontro alla possibilità di perdere parte del raccolto. Dalla Fig. 19 si può vedere, ad esempio, come negli ultimi quindici anni la temperatura sia aumentata considerevolmente proprio in concomitanza al periodo di fioritura del mais, prima decade di giugno (segmento giallo), fenomeno questo che ha influito notevolmente sull'agricoltura della pianura veneta, ed in particolar modo sulle quantità, sempre maggiori, d'acqua richiesta dall'irrigazione.

Nel caso, invece, del frumento (coltura autunno-vernina), sussistono delle problematiche a livello di maturazione del seme, in quanto, qualora la pianta in fase di maturazione dovesse scontrarsi con picchi di temperatura particolarmente elevati, fenomeno riscontrato negli ultimi quindici anni, Fig. 19 (segmento verde), si verificherebbe una chiusura anticipata del ciclo fenologico, con un conseguente crescita ridotta dei semi ed una resa economica altrettanto minore.

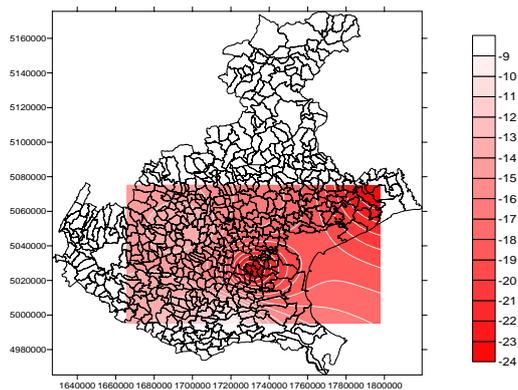


Fig. 27: anticipo fioritura frumento (calcolato sulla base dei dati relativi alle sette stazioni di pianura).

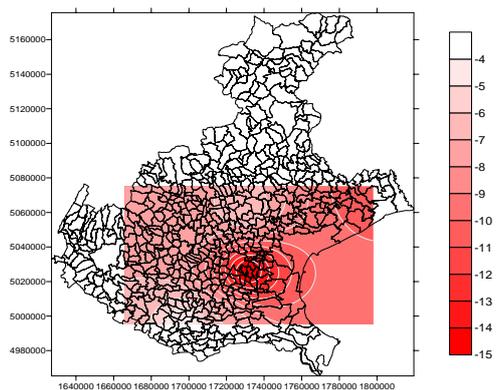


Fig. 28: anticipo maturazione frumento (calcolato sulla base dei dati relativi alle sette stazioni di pianura).

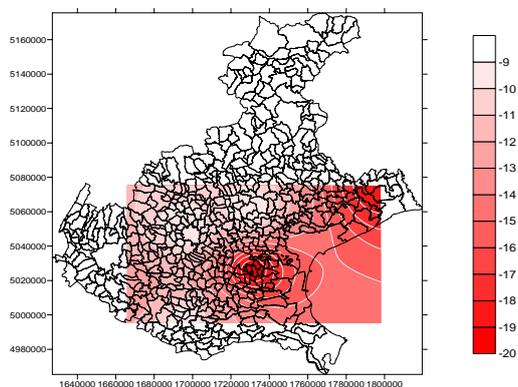


Fig. 29: anticipo fioritura mais (calcolato sulla base dei dati relativi alle sette stazioni di pianura).

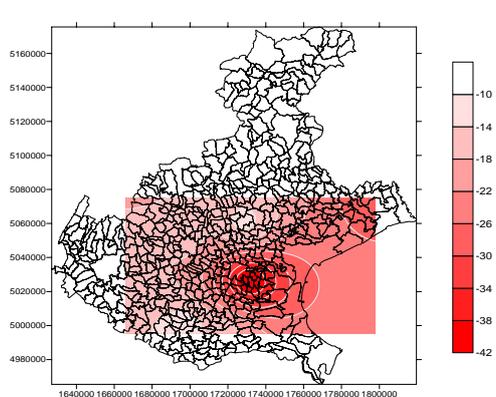


Fig.30: anticipo maturazione mais (calcolato sulla base dei dati relativi alle sette stazioni di pianura).

- 6) Per il servizio di previsione fenologica sarebbe quindi più opportuno fare riferimento alla serie temporale più recente. Va quindi ricordato che l'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (WMO) raccomanda l'utilizzo di serie storiche dell'ultimo trentennio per tutte le valutazioni a carattere meteo-climatologico, per limitare gli effetti indesiderati di fluttuazioni termiche di breve-medio periodo. In una situazione di cambiamento climatico con temperature in continua variazione si arriva a considerare, nella serie storica di riferimento (1963-1990), periodi con temperature medie inferiori rispetto all'attualità, ottenendo un andamento medio sottostimato rispetto alla condizione attuale.

BIBLIOGRAFIA

- Lanzante, J. R., 1996: **Resistant, robust & non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data.** *International Journal of Climatology*, **16 (11)**, 1197-1226.(non citata)
- Barnston, A., e R. Livezey 1987. 'Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns', *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- Chelliah, M., e P. Arkin 1992. 'Large-scale interannual variability of monthly outgoing longwave radiation anomalies over the global tropics', *J. Climate*, **5**, 371-389.
- Easterling, D., e T. Peterson 1995. 'A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series', *Int. J. Climatol.*, **15**, 369-377.
- Elliott, W., e D. Gaffen 1991. 'On the utility of radiosonde humidity archives for climate studies', *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **72**, 1507-1520.
- Gaffen, D. 1994. 'Temporal inhomogeneities in radiosonde temperature records', *J. Geophys. Res.*, **99**, D2, 3667-3676.
- Lambert, S. 1990. 'Discontinuities in the long-term northern hemisphere 500-millibar heights dataset', *J. Climate*, **3**, 1479-1484.
- Parker, D., e Cox, 1995. 'Towards a consistent global climatological rawinsonde data-base', *Int. J. Climatol.*, **15**, 473-496.
- Trenberth, K. 1990., 'Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere', *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988-993.
- IPCC, 2001. 'Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change' [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.