



Analisi trend e indici periodo 1993-2008

*Dr. Giorgio Bartolini, Dr.ssa Valentina Di Stefano, Dr. Daniele Mannini
Dr.ssa Annalena Puglisi, Prof. Simone Orlandini*

*Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia
Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente Agroforestale
Università degli Studi di Firenze*



Presupposti e obiettivi dello studio

L'effetto serra è responsabile di cambiamenti nelle condizioni climatologiche con impatti osservabili in agricoltura (IPCC, 2007). Sulla base delle analisi storiche e delle proiezioni create attraverso gli scenari futuri, gli impatti dei cambiamenti climatici possono essere sia positivi sia negativi, ma in ogni caso è certo che determineranno una variazione nei comportamenti delle colture, originando quindi la necessità di sviluppare strategie di adattamento in modo da garantire la qualità e la quantità delle produzioni tipiche della agricoltura regionale.

Purtroppo le analisi hanno messo in evidenza che per le aree mediterranee i benefici saranno assai limitati, mentre gli svantaggi saranno predominanti (Maracchi et al., 2005). Inoltre, nelle zone dove le colture si sviluppano vicino ai loro limiti di tolleranza alle temperature massime e minime, un aumento degli eventi estremi termici sarà particolarmente dannoso (Ferris et al., 1999).

Fra gli impatti più rilevanti che sono stati messi in evidenza, l'aumento delle temperature stimola le divisioni cellulari dei tessuti vegetali determinando così uno sviluppo accelerato e concentrato nel tempo (Nemani et al., 2001). Già negli ultimi anni si osserva frequentemente un anticipo delle fasi di sviluppo che rende molto vulnerabili le colture poiché la fenologia della pianta si sfasa con la stagione cui si è adattata.

In particolare, le fasi fenologiche risultano sfasate rispetto ai trend degli indici climatici, e per questo potrebbero aumentare i rischi di:

- danni da gelate tardive a causa della sovrapposizione delle delicate fasi di germogliamento e fioritura con le ultime ondate di freddo (Nemani et al., 2001, Orlandi et al., 2002)

- danni durante le fasi di maturazione dovuti a stress da temperature estreme aggravati da stress idrici tipici della stagione secca. A tal proposito Geeson e Thornes (1996) hanno registrato un aumento durante il periodo 1952 - 1992 del numero e frequenza delle ondate di calore che hanno interessato la regione mediterranea.

Per quanto riguarda la durata della stagione vegetativa, definita come il numero di giorni tra l'ultima gelata tardiva in primavera e la prima gelata precoce in autunno, Kunkel et al. (2004) hanno evidenziato un aumento.

Una piena conoscenza della variabilità climatica si riflette direttamente sulla pianificazione e organizzazione dei piani colturali e più in generale sull'attività agricola secondo nuovi schemi. Ad esempio è stato registrato un aumento della variabilità interannuale spesso imprevedibile (Blank, 2000), legata alla frequenza con cui si verificano eventi estremi di temperatura (Klein Tank e Können, 2003). Analizzando le produzioni dal 1950 al 2000, Rosenzweig ha notato una variabilità molto bassa tra il 1950 e il 1970, seguita da un aumento di variabilità negli ultimi 30 anni. Sebbene ci siano stati aumenti generali nelle produzioni di granturco, grano, soia e cotone grazie ai progressi nelle tecniche di gestione, i produttori hanno dovuto far fronte in maniera sempre più marcata alla variabilità della produzione. Di conseguenza l'oscillazione dei prezzi è stata più marcata dagli anni '70 a oggi (Blank, 2000).

La gestione degli eventi climatici estremi non deve essere pensata come una gestione di crisi temporanea, bensì, dovrebbe essere vista come un processo di analisi del rischio che pone enfasi nel monitoraggio e nella gestione di condizioni di emergenza come il verificarsi di valori termici o pluviometrici estremi. L'innalzamento delle temperature, in generale, comporta un maggior sforzo negli interventi di monitoraggio e protezione delle colture, aumentando i costi di gestione (Bindi et al., 2002).

Infine, con l'aumento della variabilità climatica e con eventi estremi più numerosi, gli imprenditori agricoli troveranno sempre più difficile programmare quale specie coltivare e quando, e potrebbero subire ingenti perdite di raccolto (Blank, 2000).

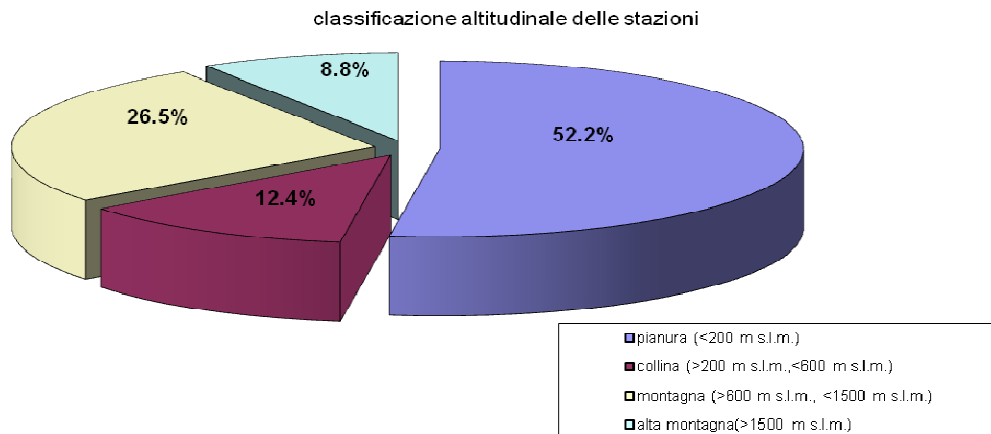
A livello globale, l'agricoltura può probabilmente adattarsi a un aumento moderato di temperatura, assumendo che non vi siano bruschi cambiamenti nella variabilità climatica. Le variazioni regionali sono invece più rilevanti dato che l'innovazione si deve confrontare con consolidate tradizionali colture agricole e pratiche gestionali. Allo stesso tempo un costante monitoraggio su lungo periodo e un'accurata analisi della situazione, accompagnata dalla messa in opera di tutti gli interventi necessari con le metodologie più idonee, può consentire di prevedere le situazioni di rischio e di individuare gli interventi di gestione e pianificazione più opportuni per salvaguardare l'agricoltura e il territorio.

In questo contesto si inserisce l'importanza di avviare uno studio di dettaglio a scala regionale come questo, possibilmente inserito in un contesto temporale a lunga scadenza, affinché le variazioni possano essere gestite non appena si manifestano. L'obiettivo di questa ricerca, infatti, è di analizzare l'andamento climatico a scala regionale così da comprenderne i cambiamenti attraverso l'analisi di trend e l'adozione di opportuni indici climatologici. La ricerca è inoltre finalizzata ad individuare ed analizzare gli impatti sull'agricoltura attraverso l'analisi di indici agrometeorologici specifici per determinate colture di interesse. Questi ultimi sono stati individuati sulla base di recenti studi condotti in condizioni simili e applicati sui dati climatologici forniti per la regione Veneto.

Materiali e metodi

Il database fornito dalla Regione Veneto consiste di 114 dataset di stazioni distribuite uniformemente sul territorio. La collocazione delle stazioni presenta una notevole eterogeneità dovuta alla morfologia del territorio. Come si può osservare dal grafico a torta, la percentuale maggiore delle stazioni si trova sotto i 200 m s.l.m., con un minimo a -3 m per la stazione di Pradon Porto Tolle e un massimo a 2240 m per Faloria.

Per ogni stazione sono stati forniti i dati di temperatura minima, massima e media giornaliera nel periodo 1993-2008.



Per ognuna delle stazioni venete sono stati calcolati 19 (4 medi, 15 estremi) indici climatologici e 25 agrometeorologici.

Gli indici climatologici medi sono stati calcolati su base stagionale e annuale per tutte le 114 stazioni. La scelta di adottare due scale temporali diverse per lo stesso indice si è resa necessaria per far emergere eventuali andamenti stagionali che non sarebbero stati percepibili con un'analisi annuale.

Per gli indici estremi, calcolati nella stagione estiva ed invernale, per ciascuna stazione sono state adottate le soglie del 90° e del 10° percentile come espressione di un'anomalia climatica, secondo quanto largamente raccomandato dalla World Meteorological Organization- Commission for Climatology (WMO-CCL) e dal Research Programme on Climate Variability and Predictability (CLIVAR) (Peterson et al., 2001). Moltissimi studi a livello mondiale testimoniano l'ampio uso che la comunità scientifica ha fatto di tali indici (Horton et al., 2001; Manton et al., 2001; Yan et al., 2002; Klein Tank e Können, 2003; IPCC, 2007; Bartolini et al., 2008).

Per quanto riguarda gli indici climatologici riferiti al periodo estivo, si è ritenuto necessario effettuare un'analisi piuttosto dettagliata con 8 indici per comprendere come il fenomeno del global warming si rifletta sul territorio regionale.

Le colture arboree ed erbacee scelte come bioindicatori sono: l'olivo, melo, pesco, pomodoro, vite e kiwi, ampiamente diffuse ed economicamente rilevanti nella regione Veneto.

Per le colture di interesse sono stati individuati in bibliografia 25 indici di tipo agrometeorologico, e dove assenti per alcune colture, riadattati e calcolati.

Per quanto riguarda le temperature critiche sono state prese in esame sia soglie per gli estremi di caldo che di freddo. Questi ultimi, a loro volta, per alcune specie, sono stati suddivisi in base alla percentuale di danno nelle prime fasi fenologiche (10% di danno, 90% di danno).

Nella pagina successiva in tabella sono riportati gli indici con le rispettive definizioni:

INDICI CLIMATOLOGICI MEDI ED ESTREMI

INDICE	DESCRIZIONE E TIPO DI ANALISI
MEDI	
TN	Media delle temperature minime (stagionale, annuale)
TX	Media delle temperature massime (stagionale, annuale)
TG	Media delle temperature medie (stagionale, annuale)
DTR	Media dell'escursione termica (stagionale, annuale)
ESTREMI	
TX90p	Giorni caldi (numero di giorni estivi con temperatura massima superiore al 90 percentile calcolato sul periodo 1993-2008 su una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame)
TX95p	Giorni molto caldi (numero di giorni estivi con temperatura massima superiore al 95 percentile calcolato sul periodo 1993-2008 su una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame)
TN90p	Notti calde (numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 90 percentile calcolato sul periodo 1993-2008 su una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame)
TN95p	Notti molto calde (numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 95 percentile calcolato sul periodo 1993-2008 su una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame)
HWDI	Ondata di calore (se in estate la temperatura massima supera di 5 °C per almeno 6 giorni consecutivi quella media massima calcolata sul periodo 1993-2008 di una finestra di cinque giorni centrata sul giorno in esame)
Cd	Numero di giorni critici per le HWDI (numero di giorni estivi in cui la temperatura massima supera di 5 °C quella media massima calcolata sul periodo 1993-2008 di una finestra di cinque giorni centrata sul giorno in esame)
SHW	Ondata di calore se temperatura media è maggiore rispetto alla temperatura media giornaliera (del periodo 1993-2008) di una o più deviazioni standard. Questi eventi devono avere una durata da tre a sei giorni (estate).
LHW	Ondata di calore se temperatura media è maggiore rispetto alla temperatura media giornaliera (del periodo 1993-2008) di una o più deviazioni standard. Questi eventi devono avere una durata più di sette giorni (estate).
Cd2	Numero di giorni critici per le ondate di calore secondo la definizione di Colacino e Conte (temperatura media maggiore della temperatura media giornaliera (del periodo 1993-2008) di una o più deviazioni standard).
TN10p	Notti fredde (numero di giorni invernali con temperatura minima inferiore al 10 percentile calcolato sul periodo 1993-2008 su una finestra di 5 giorni centrata sul giorno in esame)
CWDI	Ondata di freddo (se in inverno la temperatura minima è minore di 5 °C per almeno 6 giorni consecutivi rispetto a quella media minima calcolata sul periodo 1993-2008 di una finestra di cinque giorni centrata sul giorno in esame)
Cd3	Numero di giorni critici per le CWDI (numero di giorni invernali in cui la temperatura minima è minore di 5 °C rispetto a quella media minima calcolata sul periodo 1993-2008 di una finestra di cinque giorni centrata sul giorno in esame)
FD	Giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C (annuale, primaverile, autunnale, invernale)
CFD	Numero massimo di giorni consecutivi con temperatura minima inferiore a 0 °C (1°Novembre – 30 Aprile)

INDICI AGROMETEOROLOGICI SPECIFICI

DSV0	Numero di giorni consecutivi disponibili per lo sviluppo vegetativo con temperature minime superiori a 0 °C
VITE	
STA10	somma di tutte le temperature medie giornaliere (Tmed) nel periodo vegetativo marzo-settembre, fino alla sua maturazione e raccolta. Poiché la vite al di sotto dei 10° arresta il suo sviluppo, tale valore è stato sottratto dalla sommatoria, ponendo in pratica pari a zero i contributi delle giornate in cui la temperatura media scende sotto tale valore.
STA10 Winkler	somma di tutte le temperature medie giornaliere (Tmed) nel periodo vegetativo aprile-ottobre , fino alla sua maturazione e raccolta. Poiché la vite al di sotto dei 10 °C arresta il suo sviluppo, tale valore è stato sottratto dalla sommatoria, ponendo in pratica pari a zero i contributi delle giornate in cui la temperatura media scende sotto tale valore.
Huglin _{mar-sett}	l'indice di Huglin, introduce nella sommatoria anche la temperatura massima (Tmax) giornaliera. Questo indice si ferma a settembre, anche se numerose sono le varietà di uva che maturano e vengono raccolte a ottobre. L'indice tiene conto della latitudine, attraverso l'introduzione nella formula di un coefficiente K K=1.2 nel nord Italia. È calcolato sul periodo marzo-settembre
Phen G _{vite}	giorno giuliano in cui avviene il germogliamento della vite, calcolato come il giorno in cui la somma delle differenze tra la Tm giornaliera e la temperatura base (10 °C) raggiunge una determinata soglia di gradi giorno. La somma viene conteggiata a partire dal 1° Gennaio
Phen F _{vite}	giorno giuliano in cui avviene la fioritura della vite, calcolato come il giorno in cui la somma delle differenze tra la Tm giornaliera e la temperatura base (10 °C) raggiunge una determinata soglia di gradi giorno. La somma viene conteggiata a partire dal 1° Gennaio
Phen R _{vite}	giorno giuliano in cui avviene la maturazione, calcolato come il giorno in cui la somma delle differenze tra la Tm giornaliera e la temperatura base (10 °C) raggiunge il valore una determinata soglia di gradi giorno. La somma è conteggiata a partire dal 1° Gennaio
POMODORO	
Phen G _{pomodoro}	primo giorno giuliano in cui la temperatura media giornaliera è uguale o superiore alla soglia termica necessaria per l'inizio della fase di germogliamento
Phen F _{pomodoro}	primo giorno giuliano in cui la temperatura media giornaliera è uguale o superiore alla soglia termica necessaria per l'inizio della fase di fioritura
Phen R _{pomodoro}	primo giorno giuliano in cui la temperatura media giornaliera è uguale o superiore alla soglia termica necessaria per l'inizio della fase di maturazione
MELO	
GDD F _{melo}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di piena fioritura (dal 1 Marzo)
Ctf 10 _(-2.9;-7.5) Melo apr-ott	Temperature critiche da freddo per provocare danni al 10% < -7.5 °C soglia critica nella fase di gemmazione (Aprile) < -2.9 °C soglia critica nella fase di fioritura (Aprile-Ottobre)
Ctf 90 _(-4.7) Melo apr-ott	Temp critiche da freddo, per provocare danni al 90% < -4.7 °C soglia critica nella fase di fioritura
Ctc _(30;35) Melo	Temperature critiche da caldo: > 30 °C soglia critica diminuzione fotosintesi > 35 °C soglia critica danni ai frutti

PESCO	
GDD F _{pesco}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di piena fioritura (dal 1 Marzo)
Ctf 10 _(-2.7;-7.5) Pesco apr-ott	Temperature critiche da freddo, 10% danno < -7.5 °C soglia critica nella fase di gemmazione < -2.7 °C soglia critica nella fase di fioritura
Ctf 90 _(-4.4) Pesco apr-ott	Temperature critiche da freddo, 90% danno < -4.4 °C soglia critica nella fase di fioritura
Ctc _(30;35) Pesco	Temperature critiche da caldo > 30 °C arresto del processo di fotosintesi > 35 °C soglia critica danni ai frutti
OLIVO	
GDD F _{olivo}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di piena fioritura (dal 1 Gennaio)
GDD M _{olivo}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di maturazione dei frutti (dal 1 Gennaio)
Ctf _(-7.0) Olivo annuale	Temperature critiche da freddo < -7 °C soglia critica danni ai tessuti legnosi
KIWI	
Ctf 10 ₍₋₁₎ Kiwi apr-ott	Temperature critiche da freddo, 10% danno < -1 °C soglia critica nelle prime fasi fenologiche
MAIS	
GDD F _{mais}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di piena fioritura (dal 10 Aprile)
GDD M _{mais}	giorno giuliano in cui sono raggiunte le sommatorie termiche necessarie per il completamento della fase di piena maturazione (dal 10 Aprile)

Elaborazione statistica

Ciascun indice è stato calcolato, su base annuale e/o stagionale, per ogni stazione meteorologica. Successivamente è stata effettuata una sintesi dei risultati, calcolando i valori medi dell'analisi di regressione considerando tutte le stazioni per le quali sono stati determinati. In questo modo è stato possibile tracciare il trend generale dell'andamento nella regione Veneto degli indici per il periodo 1993-2008.

Per ogni stazione e per ogni indice è stata testata la normalità della distribuzione (per il periodo 1993-2008) tramite il test statistico di Shapiro-Wilk.

L'analisi del trend degli indici la cui distribuzione è risultata normale è stata eseguita attraverso il metodo della regressione lineare. La significatività statistica dei trend è stata valutata attraverso il test F. Il metodo regressivo fornisce indicazioni sulla velocità di variazione (coefficiente angolare della retta di regressione) dei possibili mutamenti nel tempo.

Per l'analisi del trend degli indici distribuiti in modo non normale (come per esempio la maggior parte degli indici estremi di temperatura) si è ricorso all'applicazione di un test non parametrico. La scelta è ricaduta sul test di Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968), molto diffuso in ambito scientifico (Gilbert, 1987; Heino et al., 1999; Horton et al., 2001; Hejzlar et al., 2003; Bartolini et al., 2008) in quanto fornisce, come la regressione lineare, la pendenza del trend. La significatività statistica con questo metodo è stata verificata attraverso il test non parametrico di Mann-Kendall (Kendall, 1975), ampiamente consigliato (Sneyers, 1990) e utilizzato in bibliografia (Horton et al., 2001; Brunetti et al., 2000, 2004, 2006; Su et al., 2006; Bartolini et al., 2008).

I pacchetti statistici utilizzati per le analisi sono stati SPSS per Windows versione 11.5 e R. Software.

Risultati

Indici climatici

Stazioni	Indice	n°	n	N°	NN°	a	a*
114	TN (a)	114 ; 0	0	90 ; 0	81 ; 0	+ 3.2	+ 3.6
114	TN (p)	113 ; 1	0	69 ; 0	50 ; 0	+ 4.2	+ 5.2
114	TN (e)*	114 ; 0	0	71 ; 0	46 ; 0	+ 3.4	+ 4.1
114	TN (au)	113 ; 1	0	33 ; 0	15 ; 0	+ 3.2	+ 4.9
114	TN (i)	110 ; 4	0	3 ; 0	1 ; 0	+ 2.1	+ 6.1
114	TX (a)	92 ; 22	0	7 ; 0	5 ; 0	+ 1.0	+ 4.9
114	TX (p)	79 ; 35	0	3 ; 0	0 ; 0	+ 0.9	+ 6.1
114	TX (e)*	65 ; 49	0	3 ; 1	1 ; 0	+ 0.6	+ 3.9
114	TX (au)	109 ; 5	0	18 ; 0	9 ; 0	+ 2.4	+ 5.1
114	TX (i)	36 ; 78	0	1 ; 1	0 ; 1	- 0.6	- 7.5
114	TG (a)	113; 1	0	44; 0	26 ; 0	+ 2.1	+ 3.1
114	TG (p)	112; 2	0	11 0	4; 0	+ 2.6	+ 4.8
114	TG (e)*	108; 6	0	9; 0	6; 0	+ 2.0	+ 4.7
114	TG (au)	113 ; 1	0	32 ; 0	15 ; 0	+ 2.8	+ 4.2
114	TG (i)	89 ; 25	0	2 ; 0	0 ; 0	+ 0.8	+ 4.3
114	DTR (a)	11 ; 103	0	1 ; 45	1 ; 36	- 2.2	- 3.6
114	DTR (p)	6 ; 108	0	0 ; 47	0 ; 21	- 3.3	- 4.7
114	DTR (e)*	10 ; 104	0	0 ; 36	0 ; 18	- 2.8	- 5.0
114	DTR (au)	41 ; 73	0	1 ; 11	1 ; 7	- 0.8	- 4.4
114	DTR (i)	4 ; 110	0	1 ; 26	1 ; 16	- 2.7	- 4.8

Trend degli indici per le 114 stazioni (1993-2008).

Nella tabella, in ordine alfabetico, sono indicati:

Nella prima colonna è indicato il numero di stazioni per le quali è stato possibile calcolare il trend.

Nella seconda colonna sono riportati gli indici; con l'asterisco sono indicati quelli per i quali è stato usato il test non parametrico di Theil-Sen per il calcolo della pendenza in quanto la loro distribuzione non è risultata normale.

TN = Media delle temperature minime (a =annuale; p = primavera; e = estate; au = autunno; i = inverno);

TX = Media delle temperature massime (a =annuale; p = primavera; e = estate; au = autunno; i = inverno);

TG = Media delle temperature medie (a =annuale; p = primavera; au = autunno; i = inverno);

DTR = Media dell'escursione termica giornaliera (a =annuale; p = primavera; au = autunno; i = inverno);

(n°) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti di regressione, nel caso di dati normalmente distribuiti, e coefficienti di stima della pendenza di Theil-Sen, per dati non normali, rispettivamente positivi e negativi

(n) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti nulli

(N°) con coefficienti statisticamente significativi ($p < 0.1$) rispettivamente positivi e negativi

(NN°) con coefficienti statisticamente significativi ($p < 0.05$) rispettivamente positivi e negativi

(a) valore medio (°C/50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(a*) valori medio (°C/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

Indici climatici estremi

Stazioni	Indice	n°	n	N°	NN°	m	m1	m*	m1
114	TX90p *	71 ; 24	19	2 ; 1	1 ; 0	+ 8		+ 19	
114	TX95p *	78 ; 18	18	5 ; 0	1 ; 0	+ 11		+ 35	
114	TN90p *	114 ; 0	0	62 ; 0	46 ; 0	+ 37		+ 45	
114	TN95p *	114 ; 0	0	68 ; 0	43 ; 0	+ 32		+ 39	
92	HWDI *	0 ; 0	92				0		0
114	Cd *	44 ; 26	44	1 ; 1	0 ; 1	+ 1		- 3	
114	SHW *	11 ; 3	100	5 ; 1	2 ; 0		+ 2		+ 3
114	LHW *	0 ; 0	114	0 ; 0	0 ; 0		0		
114	Cd 2 *	87 ; 15	12	6 ; 0	3 ; 0	+ 16		+ 45	
114	TN10p *	30 ; 54	30	0 ; 1	0 ; 0	- 6		- 37	
22	CWDI *	0 ; 0	22				0		
114	Cd3 *	13 ; 76	25	0 ; 4	0 ; 1	- 7		- 17	
114	FD (a)	6 ; 108	0	0 ; 16	0 ; 10	- 38		- 79	
114	FD (p)	3 ; 111	0	0 ; 30	0 ; 18	- 17		- 31	
114	FD (au)	16 ; 97	1	0 ; 2	0 ; 1	- 7		- 39	
114	FD (i)	44 ; 70	0	0 ; 4	0 ; 1	- 5		- 55	
114	CFD (sf) *	12 ; 93	9	1 ; 0	1 ; 0	-16		- 150	

Trend degli indici per le 114 stazioni (1993-2008).

Nella tabella, in ordine alfabetico, sono indicati:

Nella prima colonna è indicato il numero di stazioni per le quali è stato possibile calcolare il trend.

Nella seconda colonna sono riportati gli indici; con l'asterisco sono indicati quelli per i quali è stato usato il test non parametrico di Theil-Sen per il calcolo della pendenza in quanto la loro distribuzione non è risultata normale.

TX90p = Numero di giorni estivi con temperature massima superiore al 90° percentile;

TX95p = Numero di giorni estivi con temperature massima superiore al 95° percentile;

TN90p = numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 90° percentile;

TN95p = Numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 95° percentile;

HWDI = Numero di ondate di calore secondo la definizione (HWDI);

Cd (HWDI) = Numero di giorni critici per le ondate di calore secondo la definizione (HWDI);

SHW = Ondate di calore di breve durata (definizione di Colacino e Conte);

LHW = Ondate di calore di lunga durata (definizione di Colacino e Conte);

Cd2 = Numero di giorni critici per le ondate di calore (definizione di Colacino e Conte);

TN10p = Numero di giorni invernali con temperatura minima inferiore al 10° percentile;

CWDI = Numero di ondate di freddo secondo la definizione (CWDI);

Cd3 = Numero di giorni critici per le ondate di freddo;

FD = numero di giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C (a =annuale; p = primavera; au = autunno; i = inverno);

CFD = numero di giorni consecutivi con temperatura minima inferiore a 0 °C (sf= semestre freddo);

(n°) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti di regressione, nel caso di dati normalmente distribuiti, e coefficienti di stima della pendenza di Theil-Sen, per dati non normali, rispettivamente positivi e negativi

(n) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti nulli

(N°) con coefficienti statisticamente significativi ($p < 0.1$) rispettivamente positivi e negativi

(NN°) con coefficienti statisticamente significativi ($p < 0.05$) rispettivamente positivi e negativi

(m) valore medio (giorni/50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m1) valore medio (ondate di calore/50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m*) valori medio dei (giorni/50 anni)coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

(m1*) valori medio (ondate di calore/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

Indici agrometeorologici

Stazioni	Indice	n°	n	N°	NN	m	m1	m2	m3	m*	m1*	m2*	m3*
Indici agrometeorologici generali													
114	DSV0	103;	0	15 ;	8 ;		+				+		
Indici agrometeorologici specie specifici													
Vite													
114	STA10	114; 0	0	29 ;	11 ;				+ 447				+ 692
114	STA10 Winkler	114; 0	0	56 ;	29 ;				+ 532				+ 721
114	Huglin _{mar-sett}	107; 7	0	9; 0	5; 0				+ 436				+ 1112
114	Phen G _{Vite}	13;	0	0 ;	0 ;	-				- 56			
110	Phen F _{Vite}	3; 107	0	1 ;	1 ;	-				- 62			
75	Phen R _{Vite}	0; 75	0	0 ;	0 ;	-				- 103			
Pomodoro													
114	Phen G _{Pomod}	28; 85	0	1 ;	0 ;	-				- 19			
89	Phen F _{Pomod}	22; 67	0	0 ;	0 ;	-				- 89			
81	Phen R _{Pomod}	17; 64	0	0 ;	0 ;	-				- 97			
Melo													
114	GDD F _{melo}	29 ;	0	0 ;	0 ;	- 2							
14	Ctf 10 _{(-7.5)Melo apr *}	0 ; 7	7	0 ;	0 ;		- 10				- 8		
32	Ctf 10 _{(-2.9)Melo apr-}	0 ; 24	8	0 ;	0 ;		- 17				- 19		
24	Ctf 90 _{(-4.7)Melo apr-ott}	0 ; 15	9	0 ;	0 ;		- 9				- 8		
93	Ctc _{(30)Melo *}	50 ;	19	3 ;	2 ;		+				+ 71		
65	Ctc _{(35)Melo *}	11 ;	44	0 ;	0 ;		- 1						
Pesco													
114	GDD F _{pesco}	25 ;	0	0 ;	0 ;	- 4							
15	Ctf 10 _{(-7.5)Pesco apr *}	0 ; 5	10	0 ;	0 ;		- 8				- 12		
33	Ctf 10 _{(-2.7)Pesco apr-ott}	0 ; 24	9	0 ;	0 ;		- 18				- 21		
27	Ctf 90 _{(-4.4)Pesco apr-}	0 ; 14	13	0 ;	0 ;		- 12				- 12		
93	Ctc _{(30)Pesco *}	50 ;	19	3 ;	2 ;		+				+ 71		
66	Ctc _{(35)Pesco *}	11 ;	45	0 ;	0 ;		- 1						
Olivo													
105	GDD F _{olivo}	2 ;	0	0 ;	0 ;	-				- 44			
113	Ctf _{(-7.0)Olivo}	3 ; 63	47	0 ;	0 ;		- 19				- 22		
Kiwi													
80	Ctf 10 _{(-1)Kiwi apr-}	0 ; 32	48	0 ;	0 ;		- 26				- 28		
Mais													
101	GDD F _{Mais}	0 ;	0	0;4	0;1	-44				-57			
80	GDD M _{Mais}	0 ; 80	0	0;1	0;1	-55				-			

Trend degli indici per le 114 stazioni (1993-2008).

Nella tabella, in ordine alfabetico, sono indicati:

Nella prima colonna è indicato il numero di stazioni per le quali è stato possibile calcolare il trend.

Nella seconda colonna sono riportati gli indici; con l'asterisco sono indicati quelli per i quali è stato usato il test non parametrico di Theil-Sen per il calcolo della pendenza in quanto la loro distribuzione non è risultata normale.

DSVO = numero di giorni consecutivi disponibili per lo sviluppo vegetativo con temperature minime > 0 °C;

STA10 = somma delle temperature medie giornaliere -10 °C (Tmed base 10) nel periodo vegetativo marzo-settembre, fino alla maturazione e raccolta della vite;

STA10 Winkler = somma delle temperature medie giornaliere -10 °C (Tmed base 10) nel periodo vegetativo aprile-ottobre, fino alla maturazione e raccolta della vite;

Huglin_{mar-sett} = indice di Huglin;

GDD F_{Mais} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 820 gradi giorno a partire dal 10 aprile con Tmed base 10);

GDD M_{Mais} = maturazione (giorno di raggiungimento della soglia di 1450 gradi giorno a partire dal 10 aprile con Tmed base 10);

GDD F_{Melo} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 291 gradi giorno a partire dal 1° marzo);

GDD F_{Pesco} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 208 gradi giorno a partire dal 1° marzo);

Phen G_{Vite} = germogliamento (giorno di raggiungimento della soglia di 34 gradi giorno a partire dal 1° gennaio con Tmed base 10);

Phen F_{Vite} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 364 gradi giorno a partire dal 1° gennaio con Tmed base 10);

Phen R_{Vite} = maturazione (giorno di raggiungimento della soglia di 1606 gradi giorno a partire dal 1° gennaio con Tmed base 10);

GDD F F_{Olivio} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 580 gradi giorno a partire dal 1° gennaio con Tmed base 7,5);

Phen G_{Pomod} = germogliamento (giorno di raggiungimento della soglia di 12 °C di temperatura media a partire dal 1° gennaio);

Phen F_{Pomod} = fioritura (giorno di raggiungimento della soglia di 21 °C di temperatura media a partire dal 1° gennaio);

Phen R_{Pomod} = maturazione (giorno di raggiungimento della soglia di 23 °C di temperatura media a partire dal 1° gennaio);

Ctf10 (-7.5) = Temperatura critica che provoca il 10 % di danno nella fase di germogliamento del melo e del pesco;

Ctf10 (-2.9) = Temperatura critica che provoca il 10 % di danno nella fase di fioritura del melo;

Ctf90 (-4.7) = Temperatura critica che provoca il 90 % di danno nella fase di fioritura del melo;

Ctf10 (-2.7) = Temperatura critica che provoca il 10 % di danno nella fase di fioritura del pesco;

Ctf90 (-4.4) = Temperatura critica che provoca il 90 % di danno nella fase di fioritura del pesco;

Ctf (-7) = Temperatura critica che provoca danni ai tessuti legnosi dell'olivo;

Ctc (30) = Superamento della soglia dei 30 °C di massima che provoca la diminuzione della fotosintesi (melo, pesco);

Ctc (35) = Superamento della soglia dei 35 °C di massima che provoca danni ai frutti (melo, pesco);

(n°) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti di regressione, nel caso di dati normalmente distribuiti, e coefficienti di stima della pendenza di Theil-Sen, per dati non normali, rispettivamente positivi e negativi

(n) il numero di stazioni meteorologiche con coefficienti nulli

(N°) con coefficienti statisticamente significativi ($0.05 < p < 0.1$) rispettivamente positivi e negativi

(NN°) con coefficienti statisticamente significativi ($p < 0.05$) rispettivamente positivi e negativi

(m) valore medio (giorni giuliani/50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m1) valore medio (numero di giorni /50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m2) valore medio (°C/ 50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m3) valore medio (gradi giorno/ 50 anni) dei coefficienti angolari di tutte le stazioni

(m*) valori medio (giorni giuliani/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

(m1*) valori medio (numero di giorni critici/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

(m2*) valori medio (°C/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

(m3*) valori medio (gradi giorno/50 anni) dei coefficienti angolari delle stazioni risultate statisticamente significative al ($p < 0.10$)

Discussione

1. Indici Climatici

1.a Analisi Annuale

L'analisi dei trend degli indici climatici per le 114 stazioni nel periodo 1993-2008 ha mostrato, a livello annuale, una tendenza generale verso l'aumento delle temperature minime, massime e medie ed una diminuzione dell'escursione termica giornaliera.

L'aumento medio delle temperature minime (+3.2 °C/50 anni) è stato maggiore di quello delle massime (+1.0 °C/50 anni) con una tendenza, quindi, alla diminuzione dell'escursione termica giornaliera (-2.2 °C/50 anni).

Oltretutto il numero di stazioni con trend significativi in aumento è molto maggiore nel caso delle temperature minime piuttosto che per quelle massime.

Per quanto riguarda, invece, il trend delle temperature medie è stato osservato un aumento di + 2.1 °C/50 anni con 44 stazioni con coefficiente di correlazione significativo al 90%.

1.b Analisi stagionale

I risultati a livello stagionale hanno mostrato aumenti delle temperature minime più marcati in primavera e in estate (+4.2 °C/50 anni; +3.4 °C/50 anni) ed aumenti delle temperature massime più evidenti in autunno ed in primavera (+2.4 °C/50 anni; + 0.9 °C/50 anni).

Trend positivi caratterizzano anche la stagione estiva, soprattutto per quanto riguarda le temperature minime.

Durante la stagione invernale la tendenza generale è verso una lieve diminuzione delle temperature massime, tuttavia con trend non significativi.

L'andamento delle temperature medie giornaliere rispecchia quanto illustrato in precedenza, ovvero i valori più elevati in autunno e primavera mentre in inverno il coefficiente ha valore negativo, ancora con coefficienti angolari non significativi.

I trend calcolati per i valori medi di escursione termica sono in diminuzione, più marcatamente nella stagione primaverile ed estiva (-3.3 °C/50 anni; -2.2 °C/50 anni).

2. Indici Climatici Estremi

2.a Analisi annuale

Il numero di giorni nella stagione estiva rispettivamente con temperatura massima e minima superiori al 90 o 95 percentile mostra trend positivi. In particolare si verifica il maggiore aumento del numero di giorni con temperatura minima superiore al 95 percentile nella stagione estiva.

Il numero di ondate di calore è stato calcolato secondo due definizioni;

- 1) secondo una più estrema per la regione Veneto (HWDI) e si evidenzia un'assenza di trend (coefficiente angolare della retta uguale a 0)
- 2) secondo la definizione più idonea per la regione (di Colacino e Conte) e comunque non mostra aumenti significativi, mentre il numero di giorni critici risulta in crescita di +16 giorni/50anni.

Per quanto riguarda l'analisi del numero di ondate di freddo e il numero di giorni critici per le ondate di freddo, calcolate secondo la definizione di CWDI, estrema per il Mediterraneo, non emerge alcuna tendenza.

Il numero di giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C ed il numero di giorni consecutivi con temperatura minima inferiore a 0 °C mostrano un trend in diminuzione. In particolare si nota che per i giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C si ha una diminuzione di -38 giorni/50 anni e come per il numero di giorni consecutivi con temperatura minima inferiore a 0 °C una diminuzione -16 giorni/50 anni.

2.b Analisi Stagionale

Il numero di giorni estivi con temperatura massima superiore al 90° percentile e al 95° percentile mostrano trend positivi (rispettivamente +8 giorni/50 anni e +11 giorni/50 anni). Anche il numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 90° e 95° percentile mostrano trend in aumento (+37 giorni/50 anni e +32 giorni/50 anni).

3. Indici Agrometeorologici

Analizzando l'andamento delle somme termiche relative alle fasi di fioritura e maturazione di melo, pesco, olivo si nota un generale anticipo nel raggiungimento delle somme termiche necessarie per le diverse fasi fenologiche. In particolare risalta l'anticipo delle fasi di fioritura e maturazione della vite (-26 giorni/50 anni; -51 giorni/50 anni). Infatti, si osserva una spiccata tendenza all'anticipo sia delle prime fasi fenologiche sia di quelle relative alla maturazione dei frutti.

L'analisi mostra un aumento dei giorni con temperatura superiore alle soglie critiche di 30 °C e 35 °C, ad indicare un maggior rischio di stress fisiologici da calore.

L'indice di Huglin, indice di qualità relativo alla vite, è in notevole aumento e ciò sottolinea una futura vocazione anche nel Veneto per varietà più termofile.

Per quanto riguarda le soglie critiche per i danni da gelata, gli indici considerati mostrano una tendenza in diminuzione; questo è in accordo col trend che vede un aumento delle temperature minime nella stagione primaverile, estiva ed autunnale.

Bibliografia

Bartolini G., Morabito M., Crisci A., Grifoni D, Torrigiani T., Petralli M., Maracchi G., Orlandini S. 2008. Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. *International Journal of Climatology* 28(13): 1751-1760. DOI: 10.1002/joc.1673.

Bindi M., Triossi A., Moriondo M., 2002. Mutamenti climatici e produzione vitivinicola europea. *L'Informatore Agrario*, 45: 31-34.

Blank R., 2000. Climate change & U.S. agriculture: the impacts of warming and extreme weather events on productivity, plant diseases and pests. Environmental and Energy Study Institute (EESI), Report May 2000.

Brunetti M, Buffoni L, Maugeri M, Nanni T., 2000. Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 66, 49-60.

Brunetti M, Buffoni L, Mangianti F, Maugeri M, Nanni T., 2004. Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and planetary change* 40, 141-149.

Brunetti M, Maugeri M, Monti F, Nanni T., 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26, 345-381.

Ferris R, Wheeler TR, Ellis RH, Hadley P, Wollenweber B, Porter JR, Karacostas TS, Papadopoulos MN, Schellberg J., 1999. Effects of high temperature extremes on wheat. In: *Climate change, climate variability and agriculture in Europe: An integrated assessment*. (eds. T.E. Downing, P.A. Harrison, R.E. Butterfield and K.G. Lonsdale). Research Report 21 Environmental Change Unit, University of Oxford.

Geeson NA, Thornes JB, 1996. MEDALUS II. Executive Summary Phase II. Commissions of the European Community DG XII.

Gilbert RO., 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p. 384.

Hejzlar J, Dubrovsky M, Buchtele J, Ružička M., 2003. The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter in a temperate stream (the Malše River, South Bohemia). *The Science of the Total Environment*, 310, 143-152.

Heino R, Brázdil R, Førland E, Tuomenvirta H, Alexandersson H, Beniston M, Pfister C, Rebetz M, Rosenhagen G, Rösner S, Wibig J., 1999. Progress in the Study of Climatic Extremes in Northern and Central Europe. *Climatic change*, 42(1), 151-181.

Horton EB, Folland CK, Parker DE., 2001. The Changing Incidence of Extremes in Worldwide and Central England Temperatures to the End of the Twentieth Century. *Climatic change*, 50, 267-295.

Huglin P., 1986. Biologie et ecologie de la vigne. Payot Lausanne, Paris.

IPCC, 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Kendall MG., 1975. Rank correlation methods, Charles Griffin, London.

Klein Tank AMG, Konnen GP., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.

Manton MJ, Della-Marta PM, Haylock MR, Hennessy KJ, Nicholls N, Chambers LE, Collins DA, Daw G, Finet A, Gunawan D, Inape K, Isobe H, Kestin TS, Lefale P, Leyu CH, Lwin T, Maitrepierre L, Ouprasitwong N, Page CM, Pahalad J, Plummer N, Salinger MJ, Suppiah R, Tran VL, Trewin B, Tibig I, Yee D., 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21, 269-284.

Maracchi G., Sirotenko O. and Bindi M., 2005. Impacts of Present and Future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Temperate Regions: Europe. *Increasing Climate Variability and Change*, 70; 117:135.

Nemani RR, White MA, Cayan DR, Jones GV, Running SW, Coughlan JC, Peterson D., 2001. Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate Research*, 19, 25-34.

Orlandi F, Fornaciari M, Romano B., 2002. The use of phenological data to calculate chilling units in *Olea europaea* L. in relation to the onset of reproduction. *International Journal of Biometeorology*, 46 (1), 2-8.

Peterson TC, Folland C, Gruza G, Hogg W, Mokssit A, Plummer N., 2001. Report of the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs. *World Meteorological Organization*, Technical Document No 1071, World Meteorological Organization Geneva, Switzerland, 146 pp.

Sen PK., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.

Sneyers R., 1990. On the statistical analysis of series of observations. WMO Technical note no. 143, Geneve, 192 pp.

Su BD, Jiang T, Jin WB., 2006. Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China. *Theoretical and applied climatology*, 83, 139-151.

Theil H., 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I, II, III. *Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 53, 396-392, 512-525, 1397-1412.

Yan Z, Jones PD, Davies TD, Moberg A, Bergström H, Camuffo D, Coche C, Maugeri M, Demarée GR, Verhoeve T, Thoen E, Barriendos M, Rodríguez R, Martín-Vide J, Yang C., 2002. Trends of extreme temperature in Europe and China based on daily observation. *Climatic change*, 53, 355-392.