



Analisi trend e indici periodo 1955-2004

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

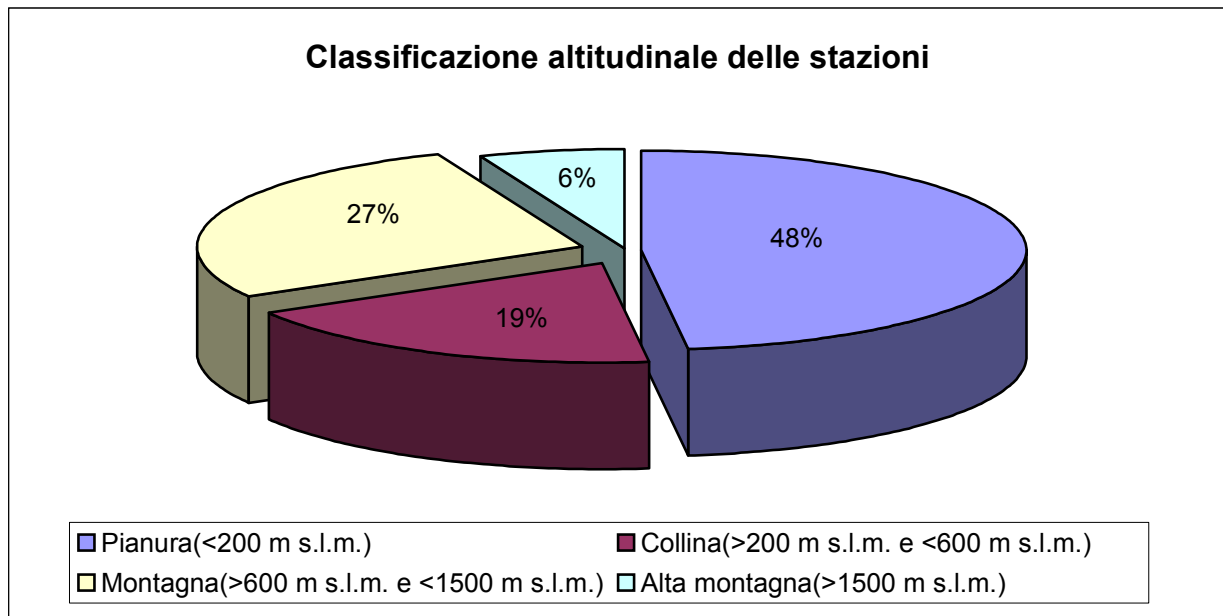
*Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia
Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente Agroforestale
Università degli Studi di Firenze*



Materiali e metodi

Il database fornito dalla Regione Veneto consiste di 48 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 2 m per le stazioni di Chioggia e Sadocca e un massimo a 1760 m per Misurina.

Per ogni stazione sono stati forniti i dati di temperatura minima, massima e media giornaliera nel periodo 1955-2004.



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

Gli indici climatici medi sono stati calcolati su base stagionale e annuale per tutte le 48 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; Peterson, 2005). Moltissimi studi a livello mondiale, europeo, nazionale e locale 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; Alexander et al., 2006; IPCC, 2007; Toretì e Desiato, 2007; Bartolini et al., 2008).

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

Le colture arboree ed erbacee scelte come bioindicatori sono state: 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, questi sono stati riadattati.

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 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000) 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 1971-2000) di una o più deviazioni standard. Questi eventi devono avere una durata di almeno 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 1971-2000) di una o più deviazioni standard).
TN10p	Notti fredde (numero di giorni invernali con temperatura minima inferiore al 10 percentile calcolato sul periodo 1971-2000 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 1971-2000 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 1971-2000 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}	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 tali da provocare danni per il 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	Temperature critiche da freddo, tali da provocare danni per il 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 1955-2004.

Per ogni stazione e per ogni indice è stata testata la normalità della distribuzione (per il periodo 1955-2004) 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 T. 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*
48	TN (a)	39 ; 9	0	34 ; 4	32 ; 4	+ 1.1	+ 1.8
48	TN (p)	38 ; 10	0	26 ; 3	24 ; 3	+ 1.0	+ 2.0
48	TN (e)*	44 ; 4	0	36 ; 2	34 ; 1	+ 1.6	+ 2.1
48	TN (au)	37 ; 11	0	19 ; 5	18 ; 5	+ 0.7	+ 2.0
48	TN (i)	35 ; 13	0	26 ; 2	23 ; 2	+ 1.2	+ 2.5
48	TX (a)	44 ; 4	0	41 ; 0	39 ; 0	+ 1.8	+ 2.1
48	TX (p)	44 ; 4	0	38 ; 1	34 ; 1	+ 1.9	+ 2.4
48	TX (e)*	45 ; 2	1	41 ; 1	38 ; 1	+ 2.3	+ 2.7
48	TX (au)	35 ; 13	0	20 ; 5	19 ; 5	+ 0.7	+ 1.8
48	TX (i)	47 ; 1	0	37 ; 0	36 ; 0	+ 2.3	+ 2.8
48	TG (a)	44 ; 4	0	39 ; 1	39 ; 1	+ 1.4	+ 1.8
48	TG (p)	43 ; 5	0	32 ; 1	32 ; 1	+ 0.6	+ 2.1
48	TG (e)*	45 ; 3	0	41 ; 1	40 ; 0	+ 1.9	+ 2.2
48	TG (au)	34 ; 14	0	25 ; 4	20 ; 4	+ 0.7	+ 1.5
48	TG (i)	46 ; 2	0	35 ; 0	31 ; 0	+ 1.7	+ 2.3
48	DTR (a)	36 ; 12	0	24 ; 8	23 ; 8	+ 0.7	+ 1.9
48	DTR (p)	35 ; 13	0	25 ; 4	22 ; 4	+ 0.6	+ 2.1
48	DTR (e)*	31 ; 17	0	24 ; 10	22 ; 10	+ 0.7	+ 2.2
48	DTR (au)	24 ; 24	0	12 ; 13	10 ; 13	+ 0.0	+ 0.0
48	DTR (i)	36 ; 12	0	24 ; 3	21 ; 3	+ 1.0	+ 2.3

Trend degli indici per le 48 stazioni (1955-2004).

Nella tabella 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
48	TX90p *	40 ; 5	3	27 ; 2	26 ; 2	+ 10		+ 17	
48	TX95p *	37 ; 5	6	27 ; 2	24 ; 1	+ 8		+ 12	
48	TN90p *	37 ; 6	5	27 ; 4	26 ; 4	+ 10		+ 18	
48	TN95p *	35 ; 6	7	26 ; 5	25 ; 4	+ 7		+ 13	
0	HWDI *	0 ; 0	0				0		0
42	Cd *	32 ; 2	8	23 ; 2	19 ; 2	+ 5		+ 8	
44	SHW *	12 ; 2	30	12 ; 2	12 ; 2		+ 1		+ 2
0	LHW *	0 ; 0	0	0 ; 0	0 ; 0		0		
48	Cd 2 *	42 ; 4	2	31 ; 4	30 ; 2	+ 11		+ 17	
48	TN10p *	9 ; 35	4	1 ; 24	1 ; 21	- 11		- 19	
0	CWDI *	0 ; 0	0				0		
48	Cd3 *	3 ; 36	9	1 ; 30	1 ; 27	- 9		- 12	
48	FD (a)	18 ; 30	0	5 ; 16	4 ; 16	- 9		- 39	
48	FD (p)	14 ; 34	0	1 ; 17	1 ; 17	- 3		- 10	
48	FD (au)	19 ; 29	0	4 ; 7	4 ; 7	- 1		- 15	
48	FD (i)	23 ; 25	0	9 ; 12	6 ; 12	- 3		- 25	
48	CFD (sf) *	12 ; 27	9	5 ; 16	3 ; 13	- 3		- 20	

Trend degli indici per le 48 stazioni (1955-2004).

Nella tabella 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													
48	DSVO	34 ;	0	18 ;	17 ;		+				+		
Indici agrometeorologici specie specifici													
Vite													
48	STA10	20 ;	0	5 ;	5 ;				- 53				0
48	STA10 Winkler	43 ; 5	0	37 ;	33 ;				+ 265				+ 350
48	Huglin _{mar-sett}	43 ; 5	0	38 ;	36 ;				+ 158				+ 475
48	Phen G _{Vite}	10 ;	0	2 ;	1 ;	-				- 20			
48	Phen F _{Vite}	7 ; 41	0	3 ;	2 ;	-				- 32			
30	Phen R _{Vite}	2 ; 28	0	0 ;	0 ;	-				- 42			
Pomodoro													
48	Phen G _{Pomod}	9 ; 39	0	2 ;	1 ;	-				- 26			
48	Phen F _{Pomod}	11 ;	1	2 ;	2 ;	-				- 52			
48	Phen R _{Pomod}	8 ; 37	3	2 ;	1 ;	-				- 61			
Melo													
48	GDD F _{melo}	1 ; 47	0	1 ;	0 ;	-				- 14			
0	Ctf 10 _{(-7.5)Melo apr *}	0 ; 0	0	0 ;	0 ;		0				0		
16	Ctf 10 _{(-2.9)Melo apr-}	2 ; 12	2	1 ;	1 ;		- 7				- 10		
6	Ctf 90 _{(-4.7)Melo apr-ott}	0 ; 5	1	0 ;	0 ;		- 7				- 8		
30	Ctc _{(30)Melo *}	24 ; 2	4	21 ;	21 ;		+				+ 27		
0	Ctc _{(35)Melo *}	0 ; 0	0	0 ;	0 ;		0				0		
Pesco													
48	GDD F _{pesco}	1 ; 47	0	1 ;	1 ;	- 9				- 14			
0	Ctf 10 _{(-7.5)Pesco apr *}	0 ; 0	0	0 ;	0 ;		0				0		
16	Ctf 10 _{(-2.7)Pesco apr-ott}	2 ; 12	2	1 ;	1 ;		- 6				- 9		
8	Ctf 90 _{(-4.4)Pesco apr-}	0 ; 6	2	0 ;	0 ;		- 5				- 5		
32	Ctc _{(30)Pesco *}	26 ; 2	4	23 ;	23 ;		+				+ 24		
0	Ctc _{(35)Pesco *}	0 ; 0	0	0 ;	0 ;		0				0		
Olivo													
48	GDD F _{olivo}	9 ; 39	0	7 ;	4 ;	-				- 29			
27	Ctf _{(-7.0)Olivo}	3 ; 16	8	2 ;	2 ;		- 6				- 15		
Kiwi													
19	Ctf 10 _{(-1)Kiwi apr-}	2 ; 12	5	1 ;	1 ;		- 6				- 11		
Mais													
44	GDD F _{Mais}	5 ; 39	0	1;2	1;2	-21				-31			
31	GDD M _{Mais}	3 ; 28	0	0;2	0;2	-24				-29			

Trend degli indici per le 48 stazioni (1955-2004).

Nella tabella 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);

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

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 48 stazioni nel periodo 1955-2004 ha mostrato, a livello annuale, una tendenza generale verso l'aumento delle temperature minime, massime e medie.

L'aumento medio delle temperature minime (+1.1 °C/50 anni) è stato minore di quello delle massime (+1.8 °C/50 anni) con una tendenza quindi ad un aumento dell'escursione termica giornaliera media (+0.7 °C/50 anni).

Per quanto riguarda, invece, il trend delle temperature medie è stato osservato un aumento di + 1.4 °C/50 anni. In tutti i trend precedentemente citati è stata riscontrata una significatività statistica superiore al 90% per la maggior parte delle stazioni, fino a 41 su 48 nel caso dell'incremento delle massime.

1.b Analisi stagionale

I risultati a livello stagionale hanno mostrato trend positivi per tutte le stagioni. Le temperature minime mostrano un aumento più marcato in primavera e in estate (+1.0 °C/50 anni; +1.6 °C/50 anni), mentre le massime mostrano aumenti più evidenti in inverno ed ancora in estate (in entrambe le stagioni +2.3 °C/50 anni).

La stagione con aumenti meno significativi è l'autunno (+0.7 °C/50 anni) sia per le minime che per le massime.

L'andamento delle temperature medie giornaliere rispecchia quanto illustrato in precedenza, ovvero i valori più elevati si registrano in estate e in inverno (+1.9 °C/50 anni; +1.7 °C/50 anni) con correlazione significativa superiore al 95% per 40 stazioni su 48 in estate.

I trend di escursione termica sono in aumento, ad esclusione della stagione autunnale, dove non riscontriamo variazioni e la differenza giornaliera tra gli estremi si mantiene pressoché stabile.

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 al 95° percentile mostra trend positivi.

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

- 1) una definizione piuttosto estrema per le regioni a clima temperato (HWDI) dove si evidenzia l'assenza di un trend piuttosto definito in quanto sono stati individuate pochissime ondate di calore.
- 2) la definizione di Colacino e Conte per la quale non si evidenzia un trend per il numero delle ondate di calore di lunga durata, mentre si ottiene un trend in lieve aumento per quelle di breve durata

Per ovviare al fatto che è stato trovato un numero troppo esiguo di ondate di calore secondo queste due definizioni e, quindi, per poter ottenere indicazioni più evidenti sulle ondate di calore si è deciso di mediare il numero degli eventi di tutte le stazioni anno per anno. Successivamente si sono messi a confronto i periodi 1955-1979 e 1980-2004 calcolando la probabilità associata al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media. In questo modo si mette in evidenza se si è registrato un cambiamento tra la prima e la seconda metà dei 50 anni di misure.

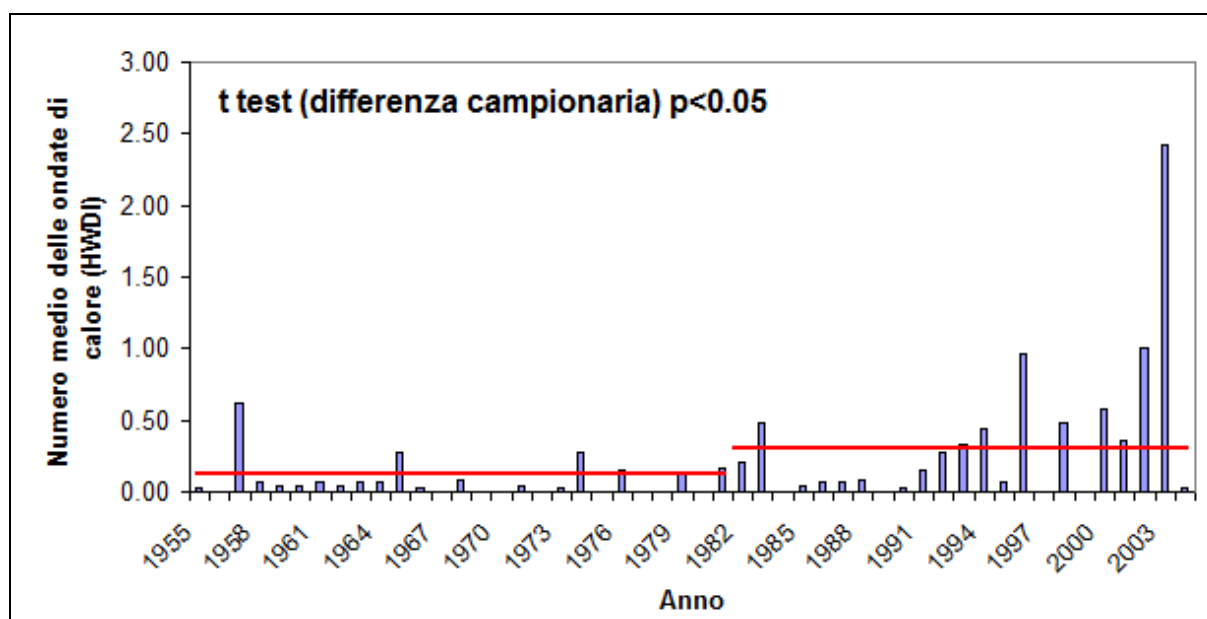


Figura 1. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004.

È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

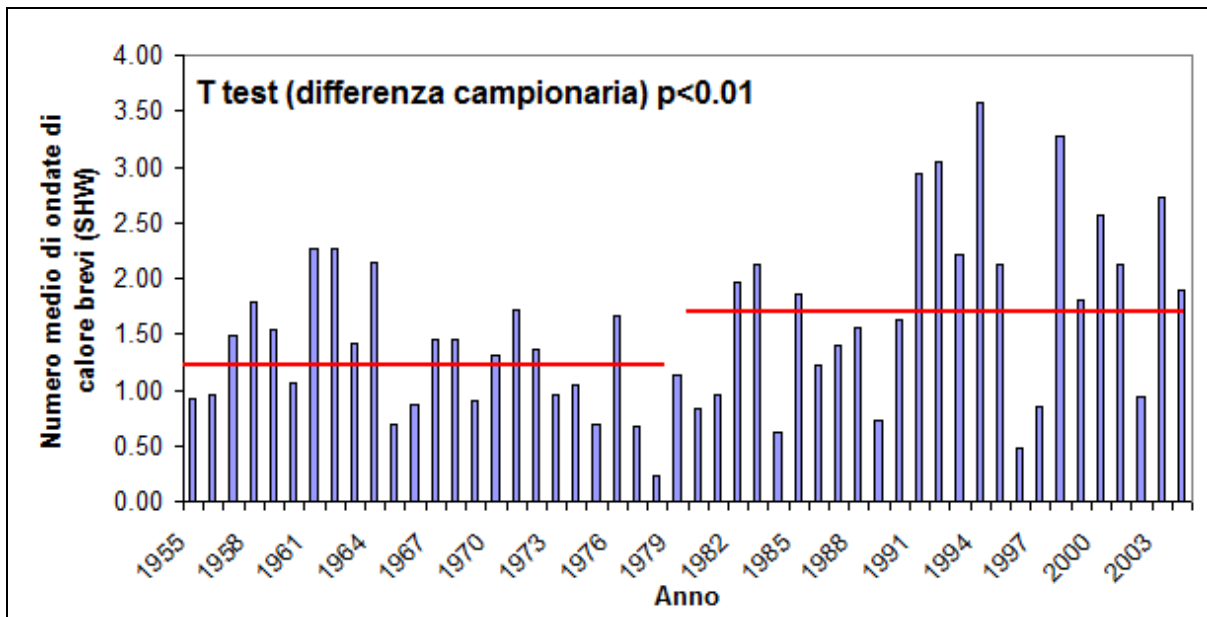


Figura 2. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004. È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

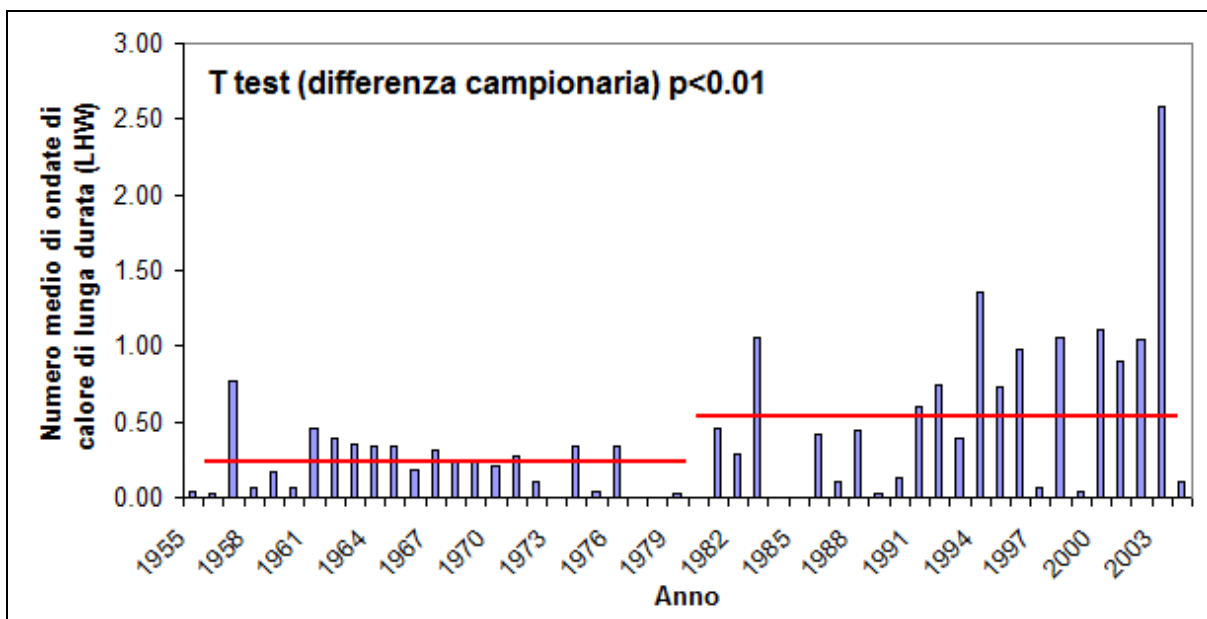


Figura 3. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004. È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

Dalle figure precedenti si nota che il test t di Student risulta significativo in tutti e tre i casi perché la probabilità che l'ipotesi nulla sia valida risulta inferiore al 5% nei primi due e inferiore all'1% nell'ultimo. Quindi i due periodi appartengono statisticamente a due popolazioni diverse e la media nel secondo periodo è sempre maggiore a quella del primo. Ciò evidenzia una generale tendenza all'aumento delle ondate di calore sia di breve che di lunga durata.

Il numero di giorni critici da caldo ottenuto invece con il test non parametrico, metodo utilizzato per la maggior parte degli indici estremi, risulta in crescita di +11 giorni/50anni.

Anche per l'analisi del numero di ondate di freddo calcolate secondo la definizione di CWDI si è ricorsi allo stesso tipo di indagine applicata per le ondate di calore. In

questo caso si ha una tendenza verso una diminuzione risultata statisticamente significativa.

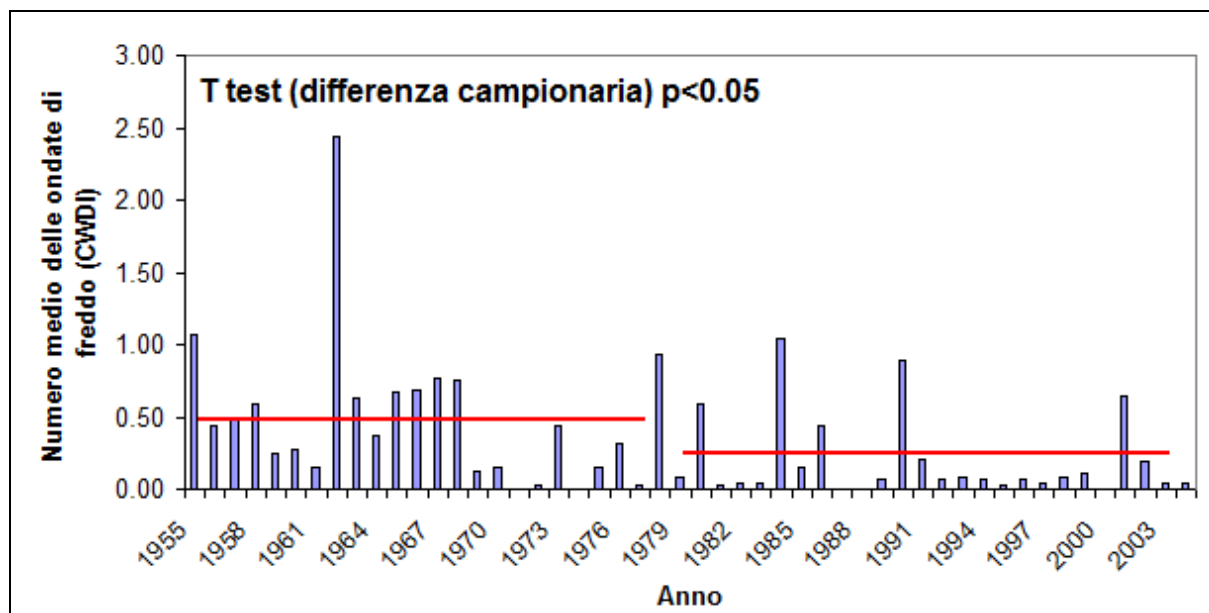


Figura 4. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004. È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

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 trend in diminuzione; in particolare si nota per i giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C una diminuzione di 38 giorni/50 anni e per il numero di giorni consecutivi con temperatura minima inferiore a 0 °C una diminuzione di 3 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 +10 giorni/50 anni e +8 giorni/50 anni). Anche il numero di giorni estivi con temperatura minima superiore al 90° e 95° percentile mostrano trend in aumento (+10 giorni/50 anni e +7 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 anticipo nel raggiungimento delle somme termiche necessarie per le diverse fasi fenologiche. In particolare si ha un anticipo delle fasi di fioritura e maturazione della vite (-20 giorni/50 anni; -20 giorni/50 anni) e del pomodoro (-19 giorni/50 anni; -23 giorni/50 anni).

Inoltre l'analisi mostra un aumento dei giorni con temperatura superiore alle soglie critiche di 30 °C, ad indicare un maggior rischio di stress fisiologici da calore. Per quanto riguarda il superamento della soglia dei 35 °C di temperatura massima e i -7.5° C di temperatura minima, a causa del loro numero esiguo in molte località si è riscontrato lo stesso problema avuto in precedenza per il calcolo del trend delle ondate di caldo e freddo.

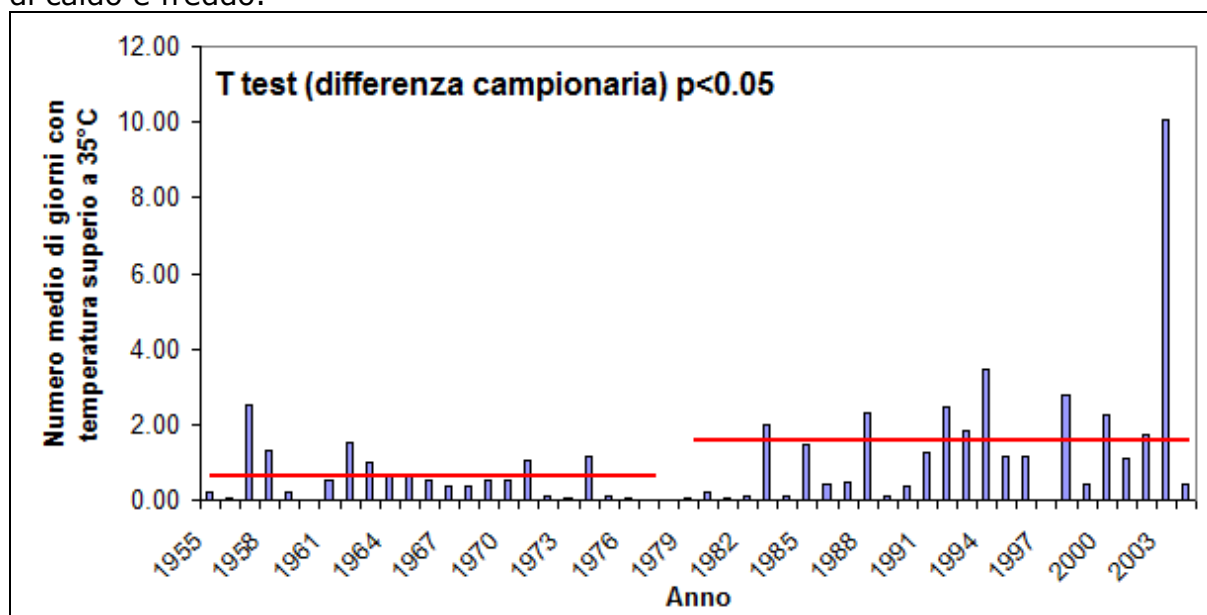


Figura 5. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004. È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

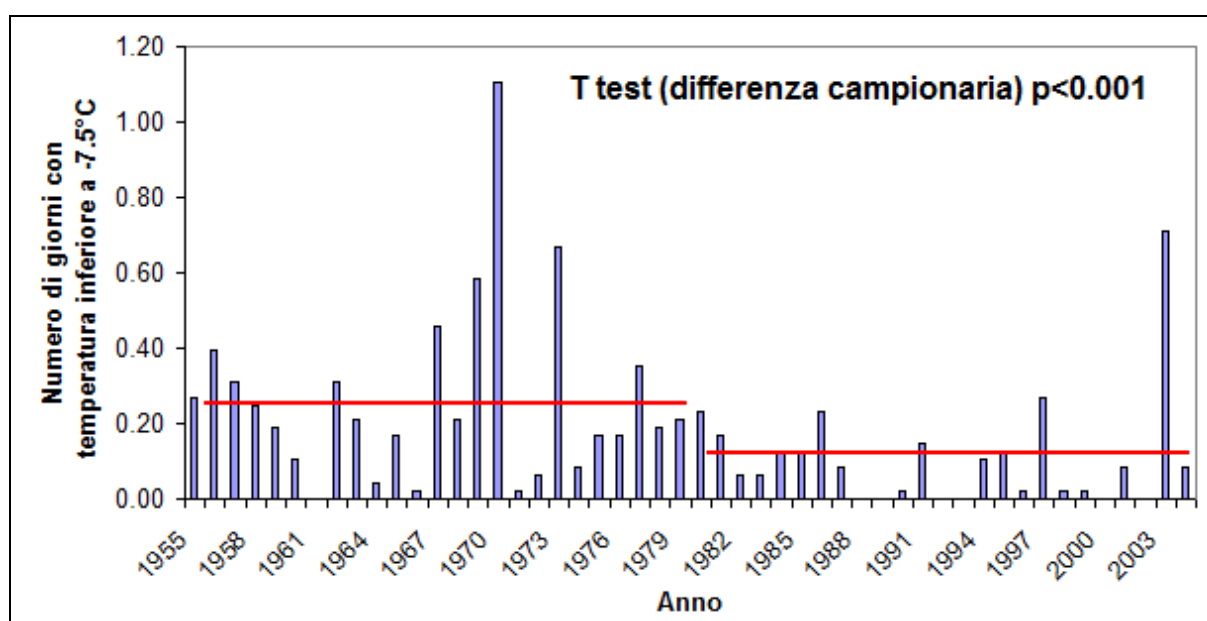


Figura 6. Le linee rosse indicano la media relativa al periodo 1955-1979 e al periodo 1980-2004. È indicato anche il valore di probabilità associato al test t di Student con l'ipotesi nulla che i due campioni (1955-1979 e 1980-2004) derivino dalla stessa popolazione ed abbiano la stessa media.

La figura 5 evidenzia una tendenza all'aumento del numero di giorni con temperatura superiore a 35° C, valore soglia che provoca danni alle colture. Il generale incremento termico potrà comunque generare anche effetti positivi, come nel caso della riduzione del rischio di gelate. Infatti per quanto riguarda le soglie critiche per i danni da gelata, la figura 6 mostra una tendenza alla diminuzione dei giorni con temperatura minima inferiore a -7.5° C; questo è in accordo col trend che vede un aumento delle temperature minime nella stagione primaverile, estiva ed autunnale.

Bibliografia

Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aquirre JL. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111: D05109.

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, 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.

Peterson TC., 2005. *Climate Change Indices*. WMO Bulletin, 54 (2), 83-86.

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.

Toreti A, Desiato F., 2007. Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology*, 28, 733-745.

Yan Z, Jones PD, Davies TD, Moberg A, Bergström H, Camuffo D, Coche C, Maugeri M, Demarée GR, Verhoeve T, Thoen E, Barriandos 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.