

Analisi della variabilità fenologica dell'olivo in Sardegna sulla base dei gradi giorno.

Antonella Bodini CNR IMATI – Milano
Quirico A. Cossu ARPAS – Sassari
Erika Entrade CNR IMATI – Milano

1. Introduzione.

Le piante e gli insetti sono animali "eterotermi" o, come più comunemente noto, a "sangue freddo". In termini concreti ciò significa che essi risentono fortemente delle variazioni termiche ambientali che condizionano, rallentandolo o accelerandolo, il loro sviluppo. Tale caratteristica determina uno stretto legame tra sviluppo dell'ospite e del fitofago. Lo sviluppo avviene in un intervallo di temperature favorevoli, limitate da una soglia termica inferiore e da una superiore, al di sotto ed al di sopra delle quali si ha l'arresto dello sviluppo. Allontanandosi ulteriormente dall'intervallo termico favorevole allo sviluppo si incontrano le soglie termiche letali, al di sopra ed al di sotto delle quali è impossibile la sopravvivenza degli individui. Lo schema teorico dell'effetto delle temperature costanti sul tasso di sviluppo e di mortalità degli insetti è mostrato in Figura 1. Le soglie citate possono essere determinate attraverso opportune indagini di laboratorio, o con osservazioni in campo.

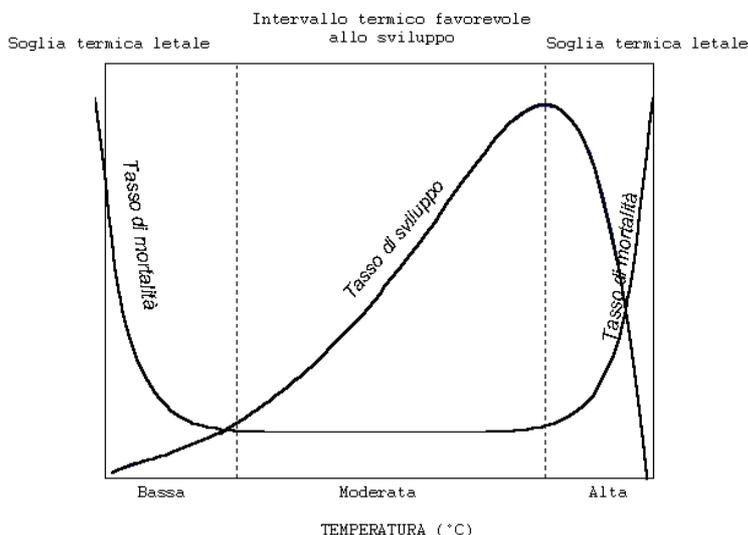


Figura 1 - Schema teorico dell'effetto delle temperature costanti sul tasso di sviluppo e di mortalità degli insetti

In un intervallo infinitesimo di tempo, il livello di sviluppo x di un individuo (età fisiologica) aumenta di una quantità che è funzione della velocità di sviluppo v . La velocità di sviluppo, o tasso di sviluppo, può essere quindi espressa come:

$$\frac{dx}{dt} = v(t)$$

Nel caso in cui la variabile di sviluppo sia dipendente da un fattore esterno, il più importante dei quali per gli insetti è la temperatura, il livello di sviluppo cambia nel tempo con velocità v secondo la funzione:

$$\frac{dx}{dt} = v(T(t), x)$$

dove $v(\cdot)$ è il tasso di sviluppo temperatura-dipendente e $T(t)$ è una funzione che descrive l'andamento della temperatura nel tempo. Differenti modelli possono essere usati per rappresentare la relazione tra tasso di sviluppo e temperatura. Tra questi, uno dei più utilizzati è il modello lineare in cui, al di sopra di una soglia termica inferiore di sviluppo, T_{inf} , la velocità di sviluppo aumenta in modo proporzionale all'aumento della temperatura. Si ha, pertanto,

$$v = c(T - T_{inf}) \quad T \geq T_{inf}, \quad v = 0 \quad T < T_{inf}$$

dove c è una costante di proporzionalità definita come costante termica. Lo sviluppo viene descritto in termini di unità di questa costante termica. Una delle unità di misura più frequentemente usate è il grado-giorno.

La sommatoria termica viene calcolata di norma fra l'inizio ed il termine di una generazione, tranne che per la generazione diapausante (quando è presente), per la quale viene presa come data di inizio del calcolo il 1 gennaio o una data successiva stabilita empiricamente. Nel metodo di calcolo usato tradizionalmente vengono sommate le differenze tra la temperatura media giornaliera e la soglia termica inferiore di sviluppo. Per una migliore approssimazione del ciclo termico giornaliero, nel caso si disponga dei soli valori di temperatura massima e minima giornaliera, è possibile utilizzare la funzione sinusoidale proposta da Allen (1976).

Il concetto di grado giorno è stato ampiamente sviluppato in letteratura dalla fine degli anni Sessanta (Baskerville e Emin, 1969) fino almeno alla metà degli anni Ottanta (Wilson e Barnett, 1983). La Figura 2 presenta un'esemplificazione del concetto definito.

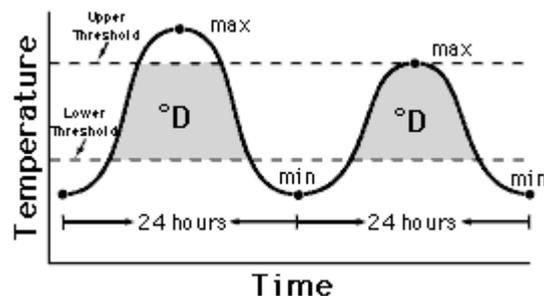


Figura 2. Gradi giorno cumulati relativi alle due soglie rappresentate.
Fonte: <http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/ddconcepts.html>



Recentemente, diversi studi sono stati condotti sul comportamento fenologico di varie specie in diversi ambienti Mediterranei. In effetti, da quanto detto, seppur brevemente, si può concludere che i potenziali cambiamenti climatici potranno modificare, fra l'altro, il ritmo fenologico, con probabili conseguenze sulla produttività delle colture, e gli aspetti fitopatologici nonché, in generale, sul paesaggio vegetale. In particolare, l'alta variabilità naturale del clima mediterraneo ed i problemi di scarsità d'acqua via via più acuti, potranno influenzare significativamente gli ecosistemi della regione mediterranea (Spano *et al.*, 1999).

In questo lavoro ci si concentra sulla fenologia dell'olivo in Sardegna. Nell'isola, la coltura si estende per circa 40.000 ettari e riveste rilevante importanza non solo per l'economia agricola del territorio, ma per alcuni aspetti legati alla storia, alle tradizioni, al paesaggio ed alla salvaguardia del territorio. Le varietà coltivate tradizionalmente nel nord ovest sono la Bosana per oltre il 95 per cento e la Sivigliana, che si trova piantata in maniera sparsa negli oliveti, perché generalmente serviva per la provvista familiare di olive da mensa e inoltre, probabilmente, fungeva anche da impollinatore. Nelle altre aree tradizionalmente votate dell'Isola assumono rilevanza, oltre alla Bosana che è quasi ubiquitaria, la Semidana nell'Oristanese, la Nera di Oliena o la Ogliastrina nel Nuorese, la Nera di Villacidro nel Monte Linas, la Nera di Gonnos e la Tonda di Cagliari nel Campidano e nel Parteolla (fonte: <http://consiglio.regione.sardegna.it/XIVLegislatura/Disegni%20e%20proposte%20di%20legge/propleg055.asp>).

In questo lavoro si fa riferimento al modello multitrofico proposto in Gutierrez *et al.* (2009) e Ponti *et al.*, (2009) sull'olivo ed un suo parassita, la mosca dell'olivo (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) e, in particolare si analizzerà la variabilità stagionale, per la cv Bosana, di alcune fasi fenologiche.

Per la messa a punto del modello multitrofico precedentemente indicato è stato considerato dagli autori un ampio dataset di informazioni fenologiche di campo, relative ad un decennio e ad un'ampia rete di aziende distribuite nelle principali aree olivicole della Sardegna. L'analisi di tali dati ha consentito di costruire dei fenogrammi della coltura da cui è stato possibile risalire alla data di raggiungimento delle diverse fasi per ciascun sito e ciascun anno di osservazione.

Il lavoro ha inizialmente considerato l'analisi della variabilità a scala regionale della data di raggiungimento dei 1238 gradi giorno indispensabili per il raggiungimento della fase fenologica di inizio indurimento del nocciolo. Successivamente, sono state confrontate le aziende a disposizione con le stazioni meteorologiche considerate in Cossu & Bodini (2009), per individuare quelle più vicine alle aziende olivicole considerate nei lavori sopra menzionati. Sulla selezione ottenuta di stazioni, sono stati calcolati, per ogni anno di dati climatici disponibili, i gradi giorni dall'inizio dell'anno alla data di raggiungimento delle fasi fenologiche osservate nelle aziende di riferimento. Tale serie storica è poi stata sottoposta ad analisi di trend.

2. Metodi.

Definizione dei gradi giorno.

Il calcolo esatto dei gradi giorno richiederebbe la raccolta dei dati di temperatura ad una scala temporale finissima, cosa spesso impossibile, soprattutto quando, come nel caso considerato in questa nota, i dati a disposizione consistono solo del valore massimo e del valore minimo giornalieri. I diversi modi con cui si è ipotizzato di modellare e/o semplificare l'andamento giornaliero della temperatura hanno prodotto in letteratura diverse formule per il calcolo dei gradi giorno. L'esemplificazione in Figura 2 rappresenta una schematizzazione dell'andamento della temperatura giornaliera (i.e., dalla minima di un giorno a quella del giorno successivo) tramite una funzione di tipo sinusoidale, simmetrica attorno all'intervallo di 12 ore, corrispondente alla temperatura massima. Recentemente, diversi metodi (sette) per il calcolo dei gradi giorno sono stati confrontati e valutati sulla base di un biennio di dati di temperatura rilevati in 9 stazioni della California (Roltsch *et al.*, 1999). Lo schema di cui alla Figura 2 può essere ricondotto al metodo di Allen (1976) di tipo *single sine* cioè, appunto, con l'assunzione di simmetria attorno alla temperatura massima, approccio adottato nel presente lavoro. L'uso di una diversa funzione sinusoidale nella seconda metà del ciclo di 24 ore è noto come metodo *double sine* (Allen, 1976): per i dati della California, i due metodi forniscono risultati quasi identici (Roltsch *et al.*, 1999).

A seconda che i valori giornalieri di temperatura massima (T_{\max}) e di temperatura minima (T_{\min}) superino o meno le soglie inferiore e superiore (T_{\inf} e T^{\sup} , rispettivamente), in accordo col metodo di Allen, l'andamento della temperatura giornaliera viene modellato con la funzione (di t)

$$T_{\min} + 0.5 (T_{\max} - T_{\min}) \{ 1 + \sin[\pi t/12 - \pi/2] \}$$

di cui un esempio è rappresentato in Figura 3.

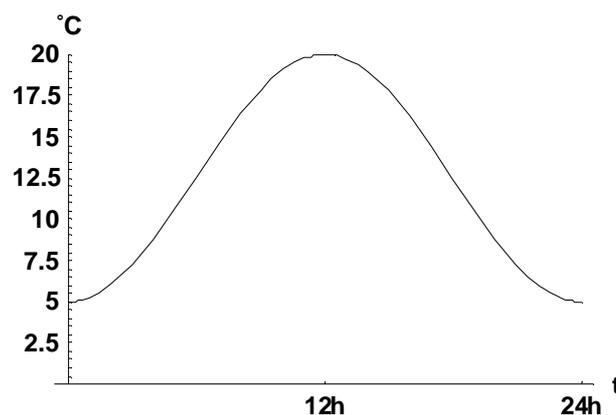


Figura 3 Esempio di andamento della temperatura giornaliera nella modellazione di Allen (*single sine*).

Siccome interessa un apporto giornaliero, e quindi le aree in Figura 2 vengono divise per le 24 ore, si può considerare come supporto della funzione che modella la

temperatura l'intervallo $[-\pi/2, 3\pi/2]$ e, quindi considerare semplicemente (dopo un minimo di algebra) come integranda la funzione

$$T_{\text{day}} + 0.5 (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \sin t.$$

Nel caso specifico considerato in questa nota, non esiste una soglia superiore (che viene, quindi, convenzionalmente fissata a 100°C , si veda la Figura 1) mentre la soglia inferiore è stata fissata pari a 9.1°C in accordo con De Melo *et al.*, 2004. Questo significa che soltanto alcuni casi, illustrati in Figura 4, dovranno essere considerati tra i 6 ottenibili con soglie generiche.

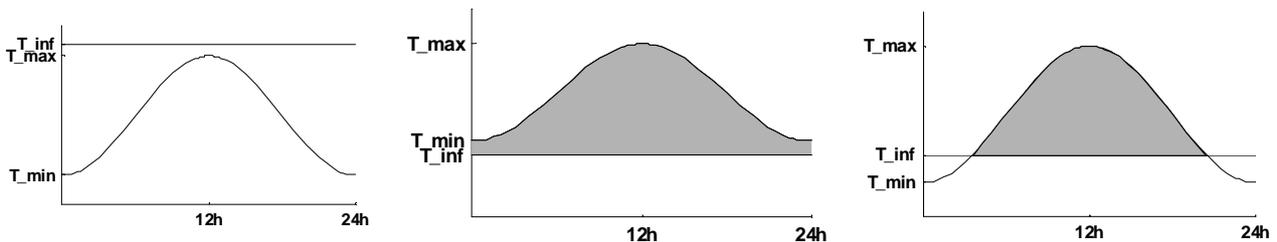


Figura 4. Schematizzazione dell'andamento giornaliero della temperatura in relazione con la soglia inferiore T_i per le formule di Allen: sono evidenziate le aree che definiscono il valore giornaliero dei gradi giorno.

Partendo a sommare dal primo di gennaio di ogni anno, la data di inizio dell'indurimento del nocciolo delle drupe, DI, viene fissata nel primo giorno, dal 1 gennaio, in cui viene superata la soglia di 1238 gradi giorno.

Analisi dei trend.

L'analisi dei trend viene svolta usualmente secondo due approcci: tramite il test della regressione lineare (Kendall & Ord, 1990) o tramite il test non parametrico di Mann-Kendall (Sneyers, 1990) e le sue varianti (Cislaghi *et al.*, 2005).

Il primo è il test più efficiente per l'ipotesi di trend lineari ma, trattandosi di un test parametrico, è sensibile alle assunzioni (di normalità) del modello. Il Mann-Kendall test è un test per l'ipotesi di trend monotono, basato sui ranghi, può tenere conto di problematiche dei dati quali la presenza di dati mancanti, la stagionalità e, per esempio, l'asimmetria dei dati stessi. In questo lavoro si effettuerà il solo test di Mann-Kendall. Per la quantificazione del trend si utilizzerà, quindi, la pendenza di Kendall, introdotta da Sen (1968) ed ulteriormente estesa da Hirsch *et al.* (1982), e definita come la mediana delle pendenze ottenute combinando i dati a coppie in tutti i modi possibili:

$$\text{Mediana } \{ (DI_i - DI_j) / (t_i - t_j), 1 \leq i < j \leq n \}$$

ove t_i indica l'anno di rilevazione del dato DI_i .

La significatività del test è qui fissata al 5%, anche se alcuni autori (e.g., Nicholls 2001) suggeriscono di tener conto anche di significatività meno forti, a causa della difficoltà di rilevare trend reali in serie non sufficientemente lunghe.

3. Risultati.

3.1 *Analisi a scala regionale.*

L'analisi è stata condotta sulle 32 stazioni della Sardegna con almeno 40 anni di dati completi, indicate in Cossu & Bodini (2009) e riportate in Tabella 1. Nella Figura 5, riprodotta da Cossu & Bodini (2009), viene riportata la distribuzione spaziale della temperatura giornaliera, in media sul periodo 1951-2008.

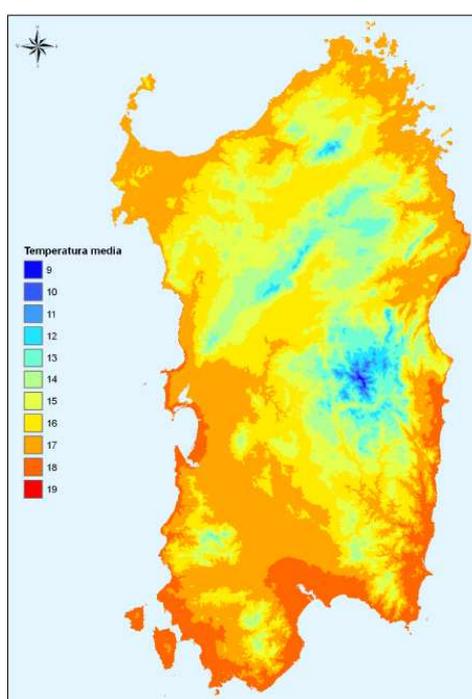


Figura 5 Distribuzione spaziale della temperatura giornaliera T_{day} , media sul periodo 1951-2008 (Cossu & Bodini, 2009).

Nella Tabella 1 viene riportato il valore medio (in numero di giorni a partire da 1 gennaio) della data di inizio indurimento del nocciolo, DI.

Tabella 1 Variabilità della data di inizio indurimento del nocciolo, DI per le 32 stazioni del territorio sardo con almeno 40 anni di dati completi, in numero di giorni da 1 gennaio.

	n.anni completi 1951- 2008	Tmin	Tmax	Tday	DI (n. di giorni dal 1 gennaio)		
					media	dev. std.	CV
ALÀ DEI SARDI	43	7.8	18.9	13.4	228.2	13.2	17.3
ARMUNGIA	44	10.3	22.2	16.2	200.0	12.4	16.2
ARZANA	41	11.3	19.0	15.1	211.9	7.5	28.3
BUSACHI	42	11.1	21.4	16.2	200.3	12.1	16.6
CAGLIARI ELMAS	54	11.9	21.5	16.7	196.0	7.1	27.5



CAGLIARI S.I.	44	13.6	21.7	17.6	187.7	5.1	37.3
CAPO BELLAVISTA	43	13.8	20.5	17.1	195.1	6.9	28.2
CARLOFORTE	40	14.6	20.6	17.6	191.1	5.7	33.4
COL. PENALE SARCIDANO	40	8.6	18.2	13.4	230.9	21.8	10.6
CORONGIU	45	13.0	21.6	17.3	191.6	7.5	25.5
CUGLIERI	47	11.7	18.7	15.2	212.2	8.4	25.4
DESULO	45	7.9	18.3	13.1	229.2	15.6	14.7
GENNA SILANA	41	7.9	15.6	11.7	249.4	23.3	10.7
IGLESIAS	40	11.8	22.5	17.2	192.4	8.7	22.2
JERZU FC	42	11.2	22.3	15.7	204.9	9.2	22.2
LA MADDALENA	41	14.3	20.6	17.5	191.7	7.8	24.6
MACOMER	44	9.7	20.7	15.2	207.9	10.5	19.7
MANDAS	46	10.1	19.6	14.8	215.4	11.4	18.9
MOGORO DIGA	45	13.0	20.5	16.7	194.7	8.7	22.3
MURAVERA	41	12.0	22.9	17.4	188.6	7.9	23.8
NUORO	43	9.9	19.8	14.9	211.1	7.1	29.6
NURRI FC	46	9.2	18.7	14.0	220.8	11.0	20.0
OLBIA	40	12.3	20.6	16.5	197.5	7.6	25.8
OROSEI	42	12.8	21.8	17.3	190.6	10.4	18.3
OTTAVA	44	11.3	20.8	16.0	204.4	10.3	19.8
S. GIOVANNI C.	48	11.9	19.5	15.7	208.3	6.9	30.0
S. GIUSTA	48	11.4	22.4	16.9	191.7	7.5	25.4
SANTA LUCIA	46	11.3	22.1	16.7	195.1	11.8	16.5
TEMPIO	45	10.0	17.8	13.9	223.3	11.2	19.8
VILLACIDRO	42	12.9	21.6	17.2	192.3	10.1	19.0
VILLANOVA MONTELEONE	48	10.4	18.0	14.2	220.8	9.7	22.8
VILLANOVATULO	45	9.5	20.3	14.9	212.0	9.4	22.5

La Figura 6 mostra che la classe modale del valore della data media di raggiungimento di 1238 gradi giorno è centrata attorno a 195 giorni, corrispondenti al 14 luglio (per un anno standard di 365 giorni), mentre la Figura 7 mostra i valori medi della data valori in associazione con la deviazione standard media.

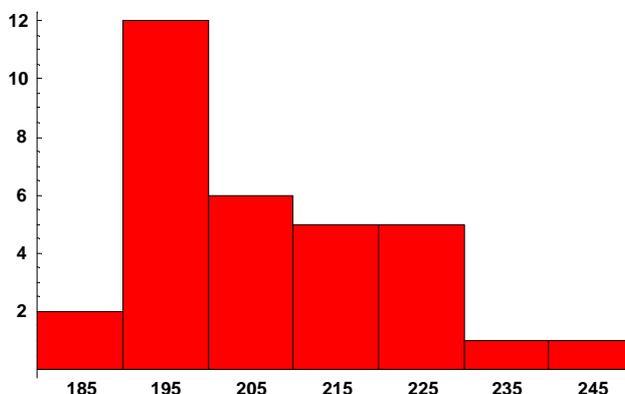


Figura 6 Istogramma dei valori della data media di inizio indurimento del nocciolo (in giorni da 1 gennaio)

Dal loro esame congiunto si vede come nella maggior parte delle stazioni la data venga raggiunta, in media, nel mese di luglio, fino ai primi di agosto. Le quattro stazioni con il periodo medio più lungo sono Alà dei Sardi, Colonia Penale Sarcidano, Desulo e Genna Silana, cui corrisponde anche una variabilità più elevata.

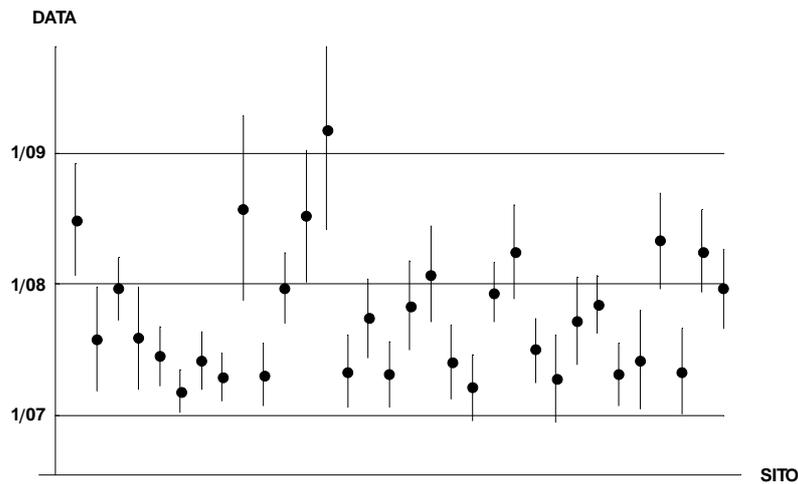


Figura 7 Rappresentazione della data media di raggiungimento del valore 1238 gradi giorno ed associata deviazione standard (semi-barra verticale). Le stazioni si presentano ordinate, da sinistra a destra, secondo l'ordine alfabetico della Tabella 1.

Nelle Tabelle 2 e 3 vengono riportati i risultati ottenuti dall'analisi per la individuazione dei trend, effettuata sia col test non parametrico di Mann-Kendall. L'analisi si deve intendere come il risultato dell'applicazione dei test all'intero insieme di dati e dell'analisi di sensitività dei trend ottenuti rispetto alla presenza di valori influenti (Wigley, 2006, Appendix A). Inoltre, sono riportati i risultati dell'analisi di trend sulla temperatura giornaliera (T_{day}) e sull'indice GSL (*growing season length*) proposto da Frich *et al.* (2002) ed analizzato in Cossu & Bodini (2009). L'indice GSL descrive il periodo a partire dalla prima volta in cui la temperatura media giornaliera si assesta al di sopra dei 5°C per almeno 5 giorni consecutivi fino alla prima volta in cui la medesima si assesta al di sotto dei 5 °C per almeno 5 giorni consecutivi. In Cossu & Bodini (2009) si è fatto riferimento alla soglia 10°C piuttosto che a quella di 5°C, proposta originariamente, in quanto più rispondente alle esigenze termiche delle colture mediterranee.

Tabella 2 Risultati dell'analisi secondo il Mann-Kendall test sul trend della data DI nelle 32 stazioni del territorio sardo con almeno 40 anni di dati completi. Confronto con il trend nella temperatura giornaliera e con l'indice GSL. 0 = assenza di trend, ± 1 trend significativo, col segno.

	n anni completi 1951-2008	DI	Tday	GSL
ALÀ DEI SARDI	43	-1	1	0
ARMUNGIA	44	1	-1	0
ARZANA	41	0	0	0



BUSACHI	42	1	-1	-1
CAGLIARI ELMAS	54	-1	1	0
CAGLIARI S.I.	44	0	0	0
CAPO BELLAVISTA	43	0	0	0
CARLOFORTE	40	0	0	0
COL. PENALE SARCIDANO	40	0	0	0
CORONGIU	45	-1	1	0
CUGLIERI	47	-1	1	0
DESULO	46	-1	0	0
GENNA SILANA	42	-1	1	1
IGLESIAS	40	1	-1	0
JERZU FC	42	-1	1	0
LA MADDALENA	41	0	0	0
MACOMER	44	1	-1	-1
MANDAS	46	0	1	0
MOGORO DIGA	45	0	0	0
MURAVERA	41	0	0	-1
NUORO	43	0	0	0
NURRI FC	46	0	0	0
OLBIA	40	0	0	0
OROSEI	42	0	0	0
OTTAVA	44	0	0	0
S. GIOVANNI C.	48	0	0	0
S. GIUSTA	48	0	0	0
SANTA LUCIA	46	-1	1	0
TEMPIO	45	-1	1	0
VILLACIDRO	42	-1	1	1
VILLANOVA MONTELEONE	48	0	0	0
VILLANOVATULO	45	0	-1	-1

Osserviamo infine che i test su DI risultano significativi in quasi tutti i casi in cui lo sono i test su T_{day} . Questo è dovuto verosimilmente alla definizione stessa di gradi giorno, che coinvolge soltanto la temperatura giornaliera T_{day} in una relazione lineare. Il confronto con i risultati del test sull'indice GSL mostra come in tutte le stazioni (seppur poche) con trend nell'indice GSL si ha trend anche nell'indice DI, a parte Muravera. Tuttavia, il basso numero di stazioni con trend in GSL rende questo confronto di scarso interesse.

Nella Tabella 3 vengono riportate le quantificazioni sia della variazione a 50 anni di DI che della variazione di T_{day} .



Tabella 3 Risultati dell'analisi sul trend per DI e T_{day} nelle 32 stazioni del territorio sardo con almeno 40 anni di dati completi. Quantificazione tramite la pendenza di Sen della variazione a 50 anni.

	n anni completi 1951- 2008	MK test	variazione 50 anni n. giorni	MK test	variazione 50 anni °C
		DI	DI	Tday	Tday
ALÀ DEI SARDI	43	-1	-21.0	1	1.55
ARMUNGIA	44	1	22.7 (24.1)	-1	- 1.85
ARZANA	41	0	--	0	--
BUSACHI	42	1	19.7	-1	- 1.75
CAGLIARI ELMAS	54	-1	-13.6	1	1.10
CAGLIARI S.I.	44	0	--	0	--
CAPO BELLAVISTA	43	0	--	0	--
CARLOFORTE	40	0	--	0	--
COL. PENALE SARCIDANO	40	0	--	0	--
CORONGIU	45	-1	-13.8	1	1.20
CUGLIERI	47	-1	-14.8 (-16.7)	1	1.45
DESULO	46	-1	-14.6	0	--
GENNA SILANA	42	-1	-32.4 (-26.3)	1	2.00
IGLESIAS	40	1	12.3 (14.4)	-1	- 1.00
JERZU FC	42	-1	-15.4 (-17.6)	1	1.45
LA MADDALENA	41	0	--	0	--
MACOMER	44	1	22.2 (24.1)	-1	- 2.15
MANDAS	46	0	--	1	1.15
MOGORO DIGA	45	0	--	0	--
MURAVERA	41	0	--	0	--
NUORO	43	0	--	0	--
NURRI FC	46	0	--	0	--
OLBIA	40	0	--	0	--
OROSEI	42	0	--	0	--
OTTAVA	44	0	--	0	--
S. GIOVANNI C.	48	0	--	0	--
S. GIUSTA	48	0	--	0	--
SANTA LUCIA	46	-1	-14.3 (-14.1)	1	1.05
TEMPIO	45	-1	-13.8	1	1.05
VILLACIDRO	42	-1	-22.2	1	2.65
VILLANOVA MONTELEONE	48	0	--	0	--
VILLANOVATULO	45	0	--	-1	- 1.35

3.2 Analisi di dettaglio su singole stazioni

Confrontando le 32 stazioni considerate in questo studio e le aziende considerate in Gutierrez *et al.* (2009) ed in Ponti *et al.* (2009), si sono raggruppate le aziende per areali, sulla base anche della prossimità di una stazione meteorologica; individuate le fasi fenologiche di cui è stata osservata la data di inizio in campo; calcolata una data media per l'areale, quando le date osservate differivano per meno di 7 giorni o valutato un *range* di date in caso contrario. La Figura 8 mostra la localizzazione delle aziende e delle stazioni meteorologiche.

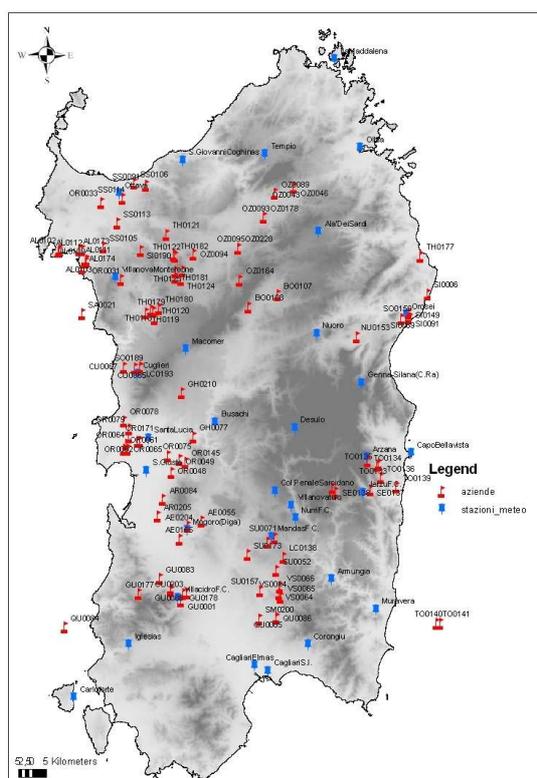


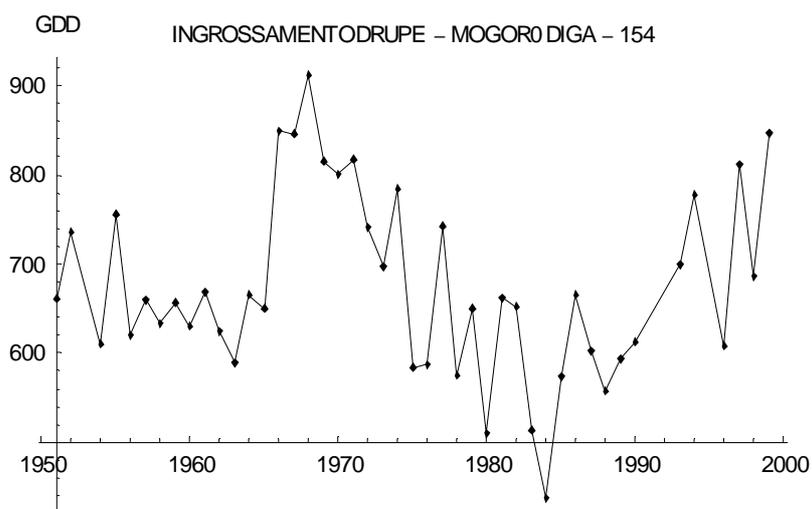
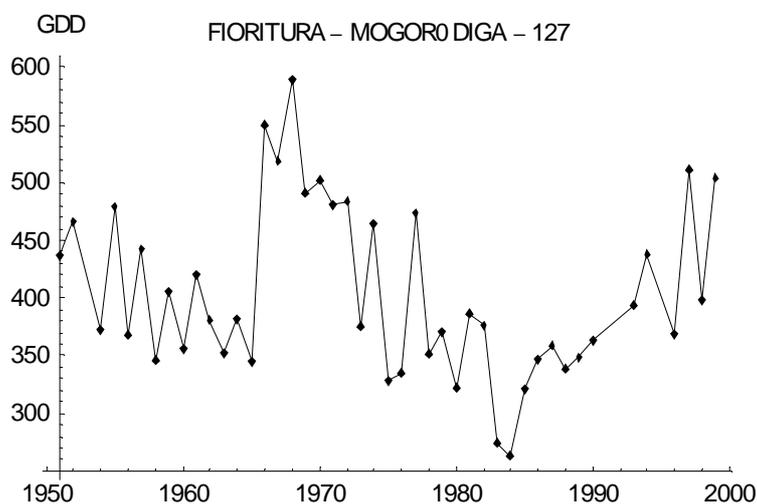
Figura 8 Confronto tra le 32 stazioni considerate in questo studio e le aziende considerate in Gutierrez *et al.* (2009) ed in Ponti *et al.* (2009)

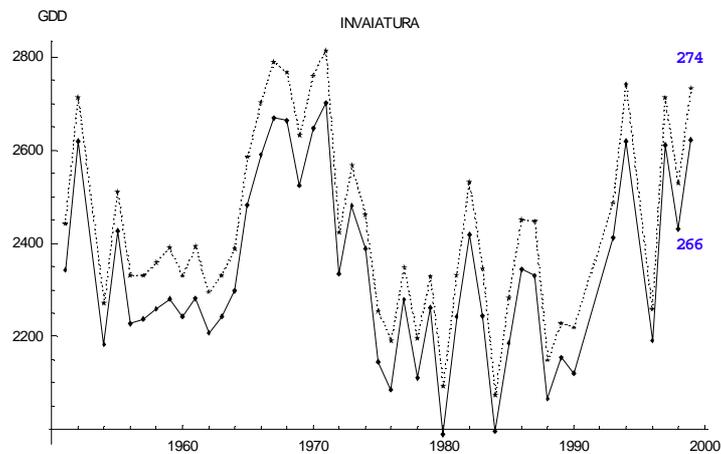
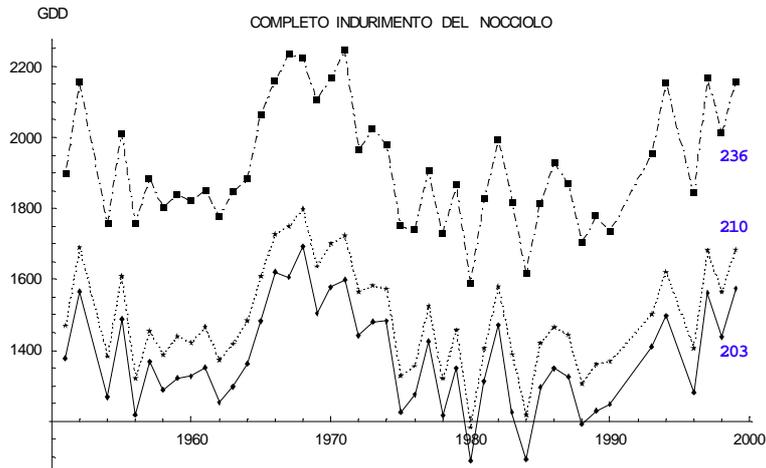
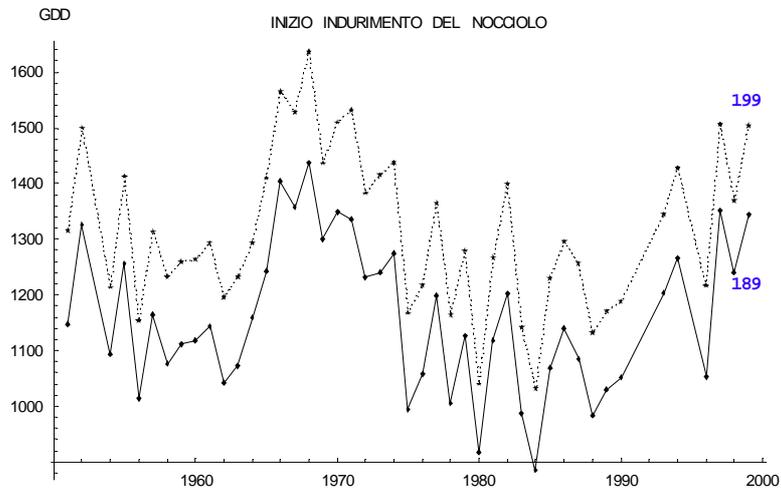
Vengono di seguito presentati i risultati delle analisi a scala di stazione, con indicazione della data media di raggiungimento di ogni singola fase.

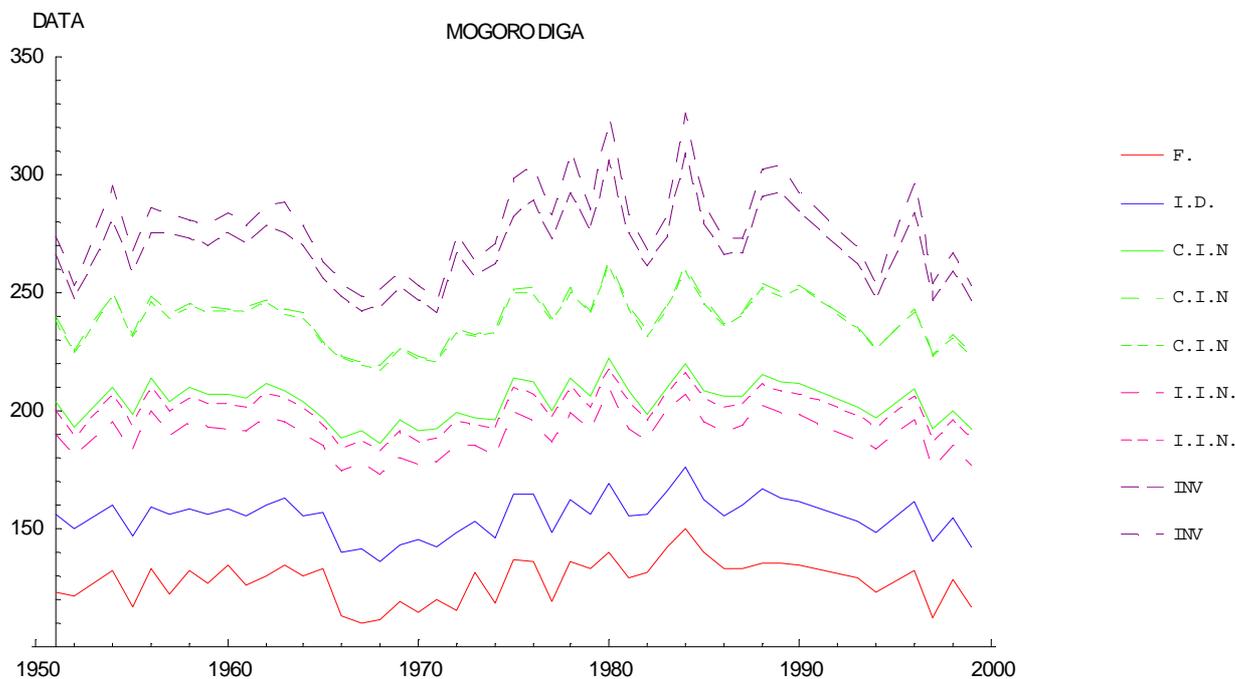


MOGORO DIGA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
127	FIORITURA	403.8	127 (± 9.2)
154	INGROSSAMENTO DRUPE	674.9	155 (± 8.6)
189 199	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1160.1	190 (± 8.8)
203 210 236	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1379.3	204 (± 8.7)
		1942.8	239 (± 11.2)
		1920.0	238 (± 11.0)
		1316.7	200 (± 8.7)
266 274	INVAIATURA	2337.4	269 (± 16.6)
		2433.8	278 (± 19.5)

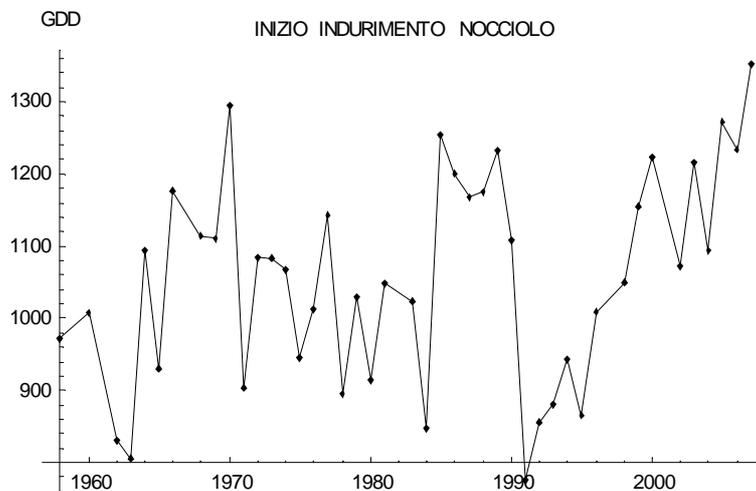
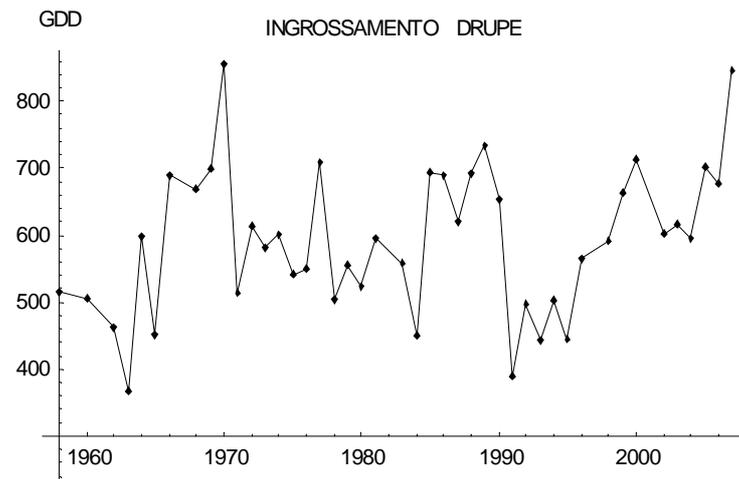
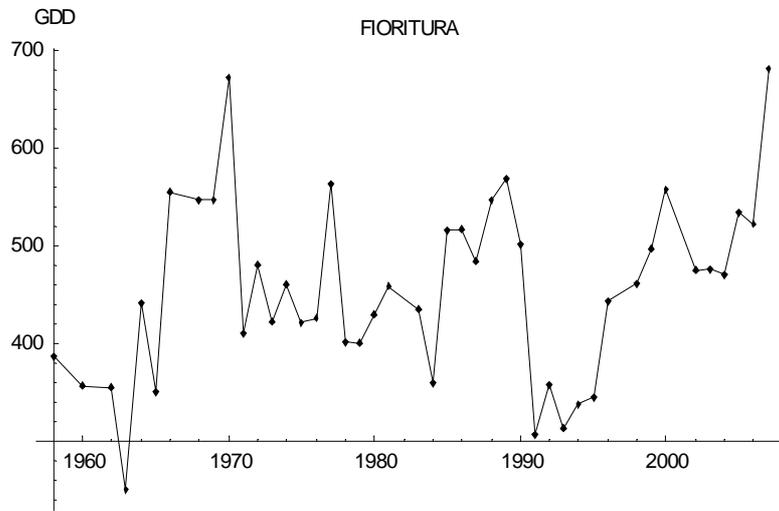


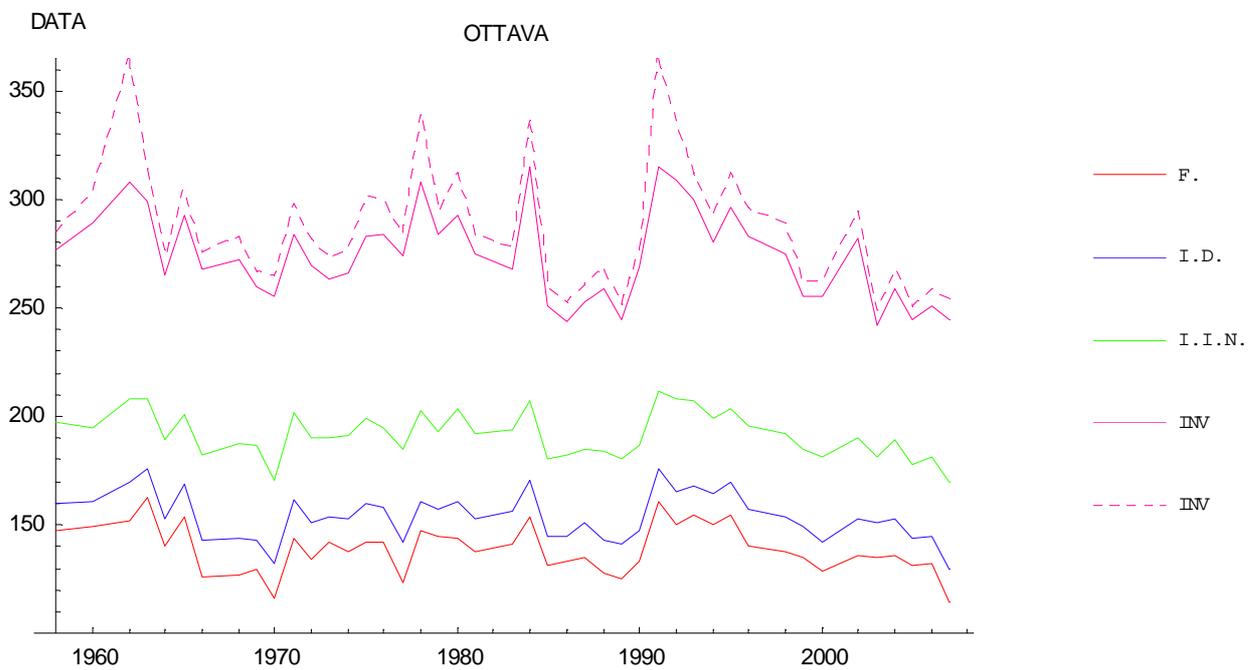
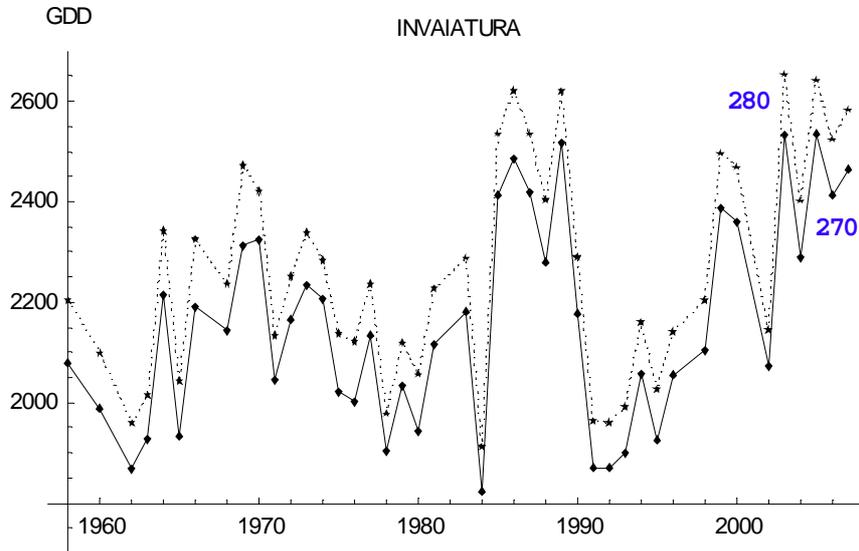




OTTAVA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
138	FIORITURA	455.3	139 ± 11.1
153	INGROSSAMENTO DRUPE	591.6	154 ± 10.9
191	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1056.0	192 ± 10.4
XX	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	XX	
270	INVAIATURA	2157.2	275 ± 20.6
280		2263.0	288 ± 29.0

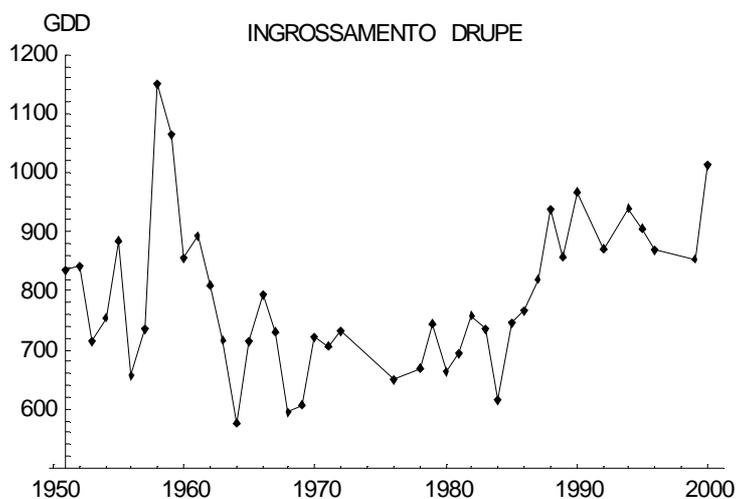
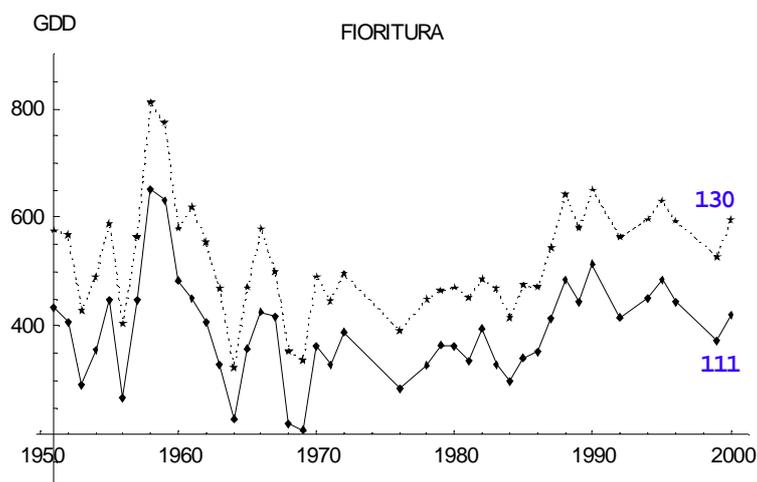


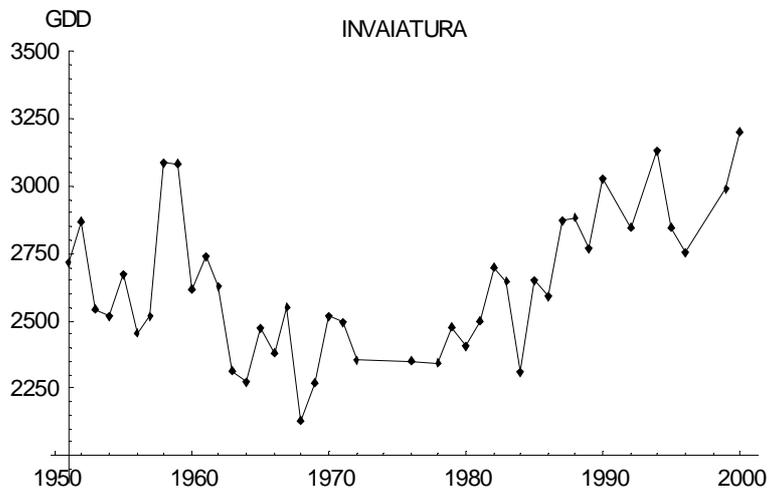
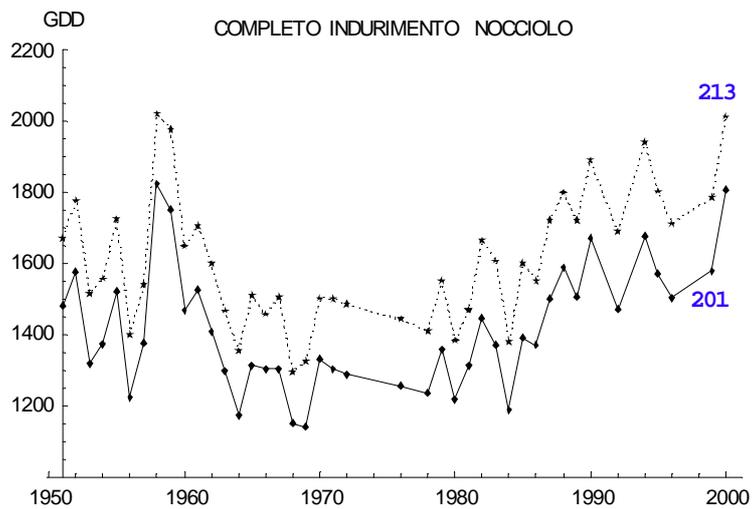
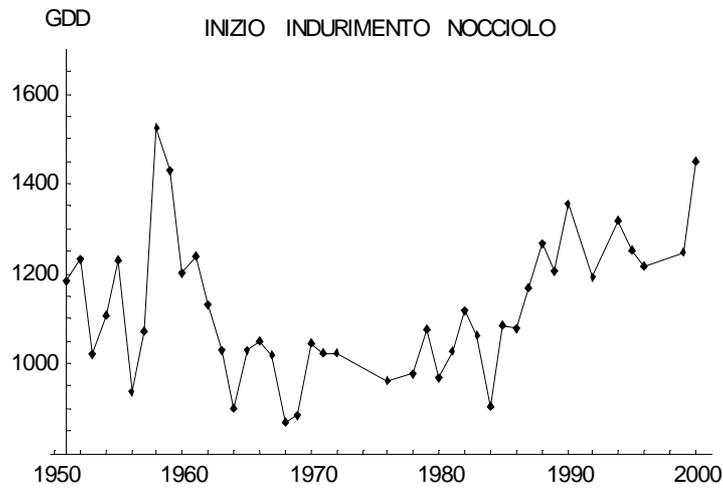


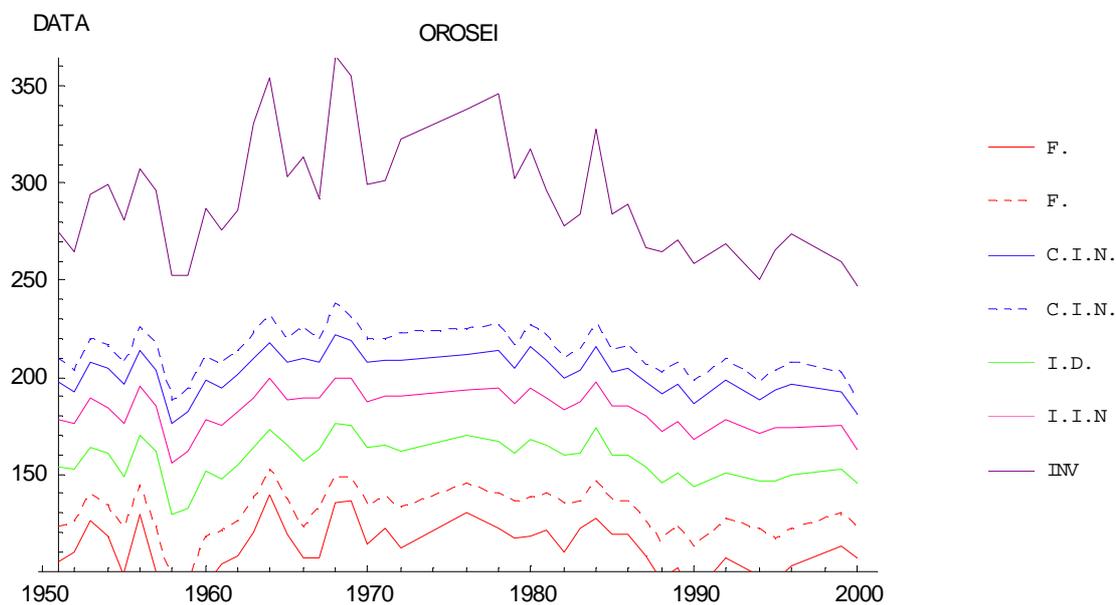


OROSEI

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
111	FIORITURA	390.5	111 ± 14.3
130		521.6	130 ± 12.7
157	INGROSSAMENTO DRUPE	789.7	158 ± 10.7
182	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1121.8	183 ± 10.4
201	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1416.0	202 ± 10.8
213		1611.6	214 ± 11.5
285	INVAIATURA	2631.1	293 ± 30.5

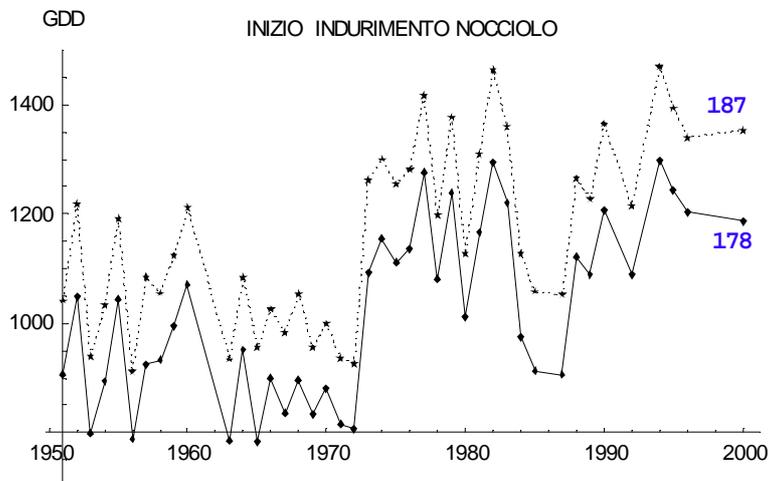
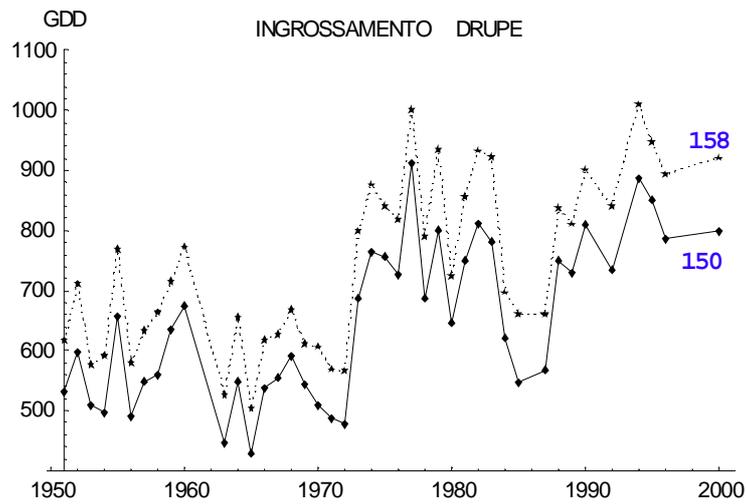
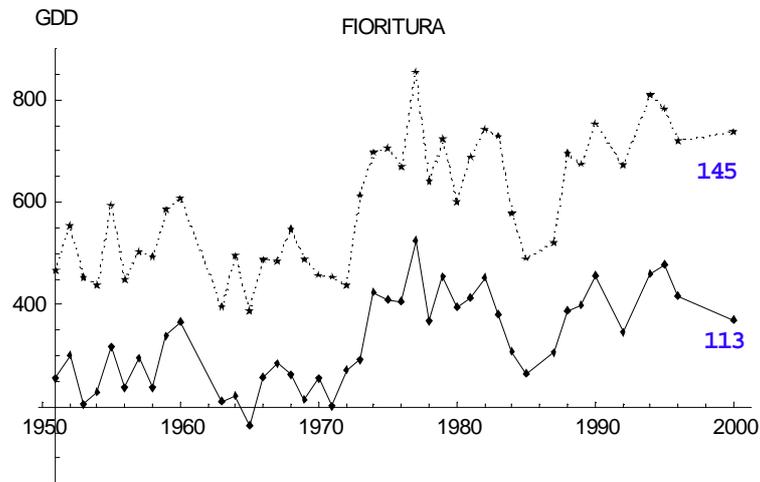


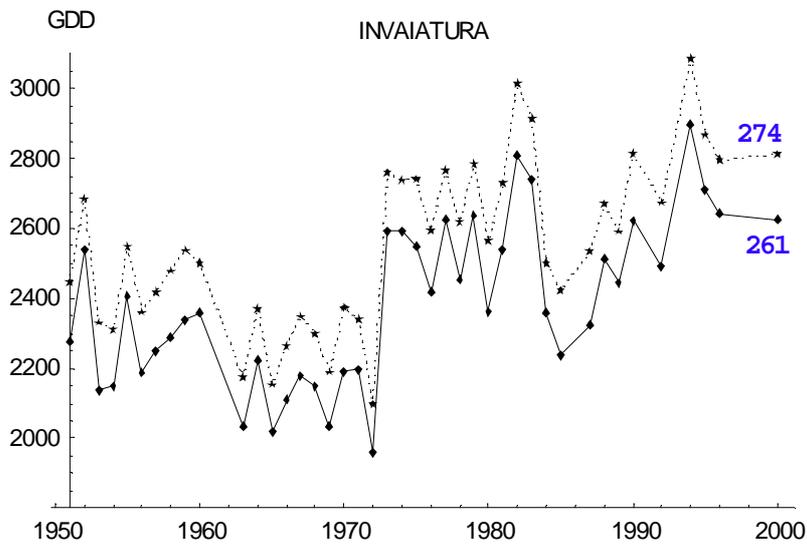
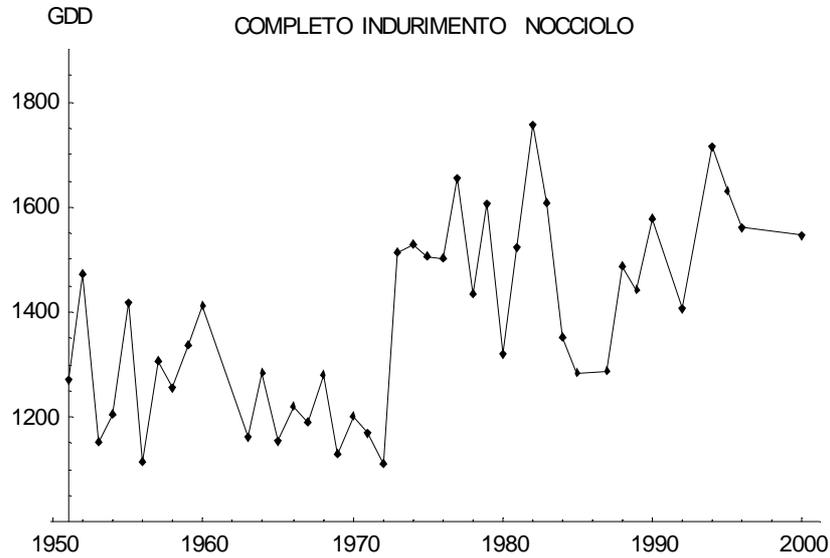


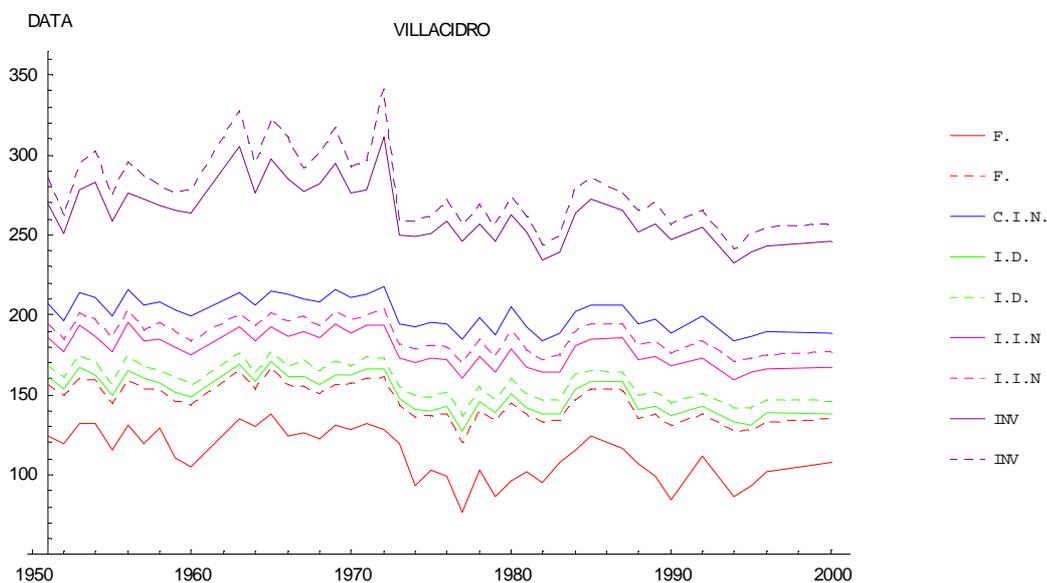


VILLACIDRO

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
113 145	FIORITURA	329.8	113 ± 16.1
		592.5	146 ± 11.6
150 158	INGROSSAMENTO DRUPE	648.0	151 ± 11.6
		744.4	159 ± 11.1
178 187	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1021.6	178 ± 10.6
200	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1383.3	201 ± 10.2
		1163.9	188 ± 10.1
261 274	INVAIATURA	2385.8	264 ± 18.8
		2553.1	279 ± 23.5

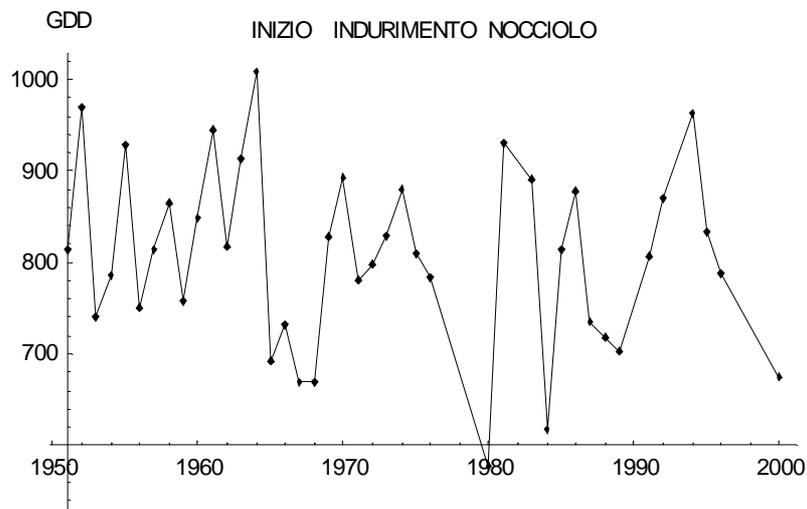
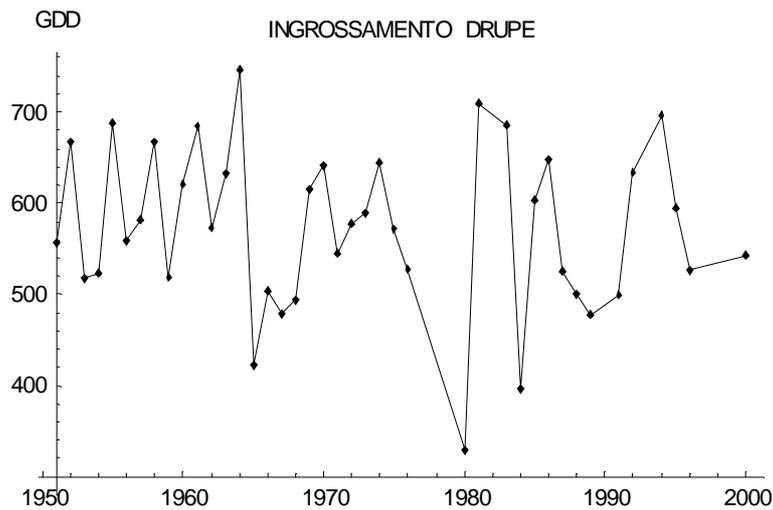
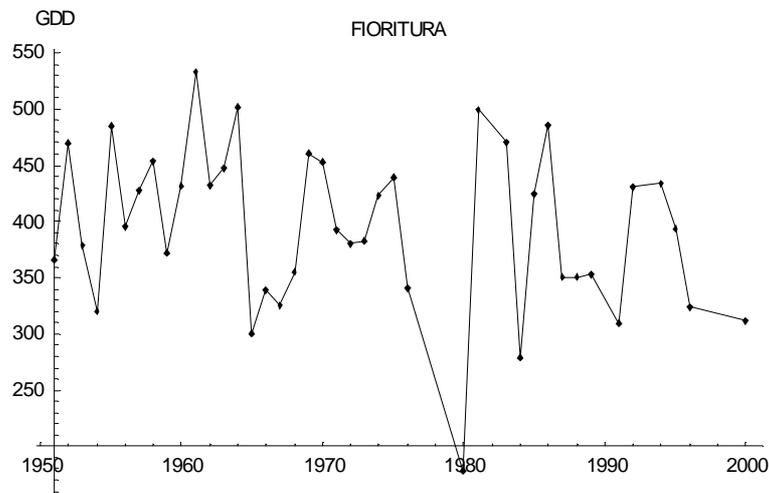


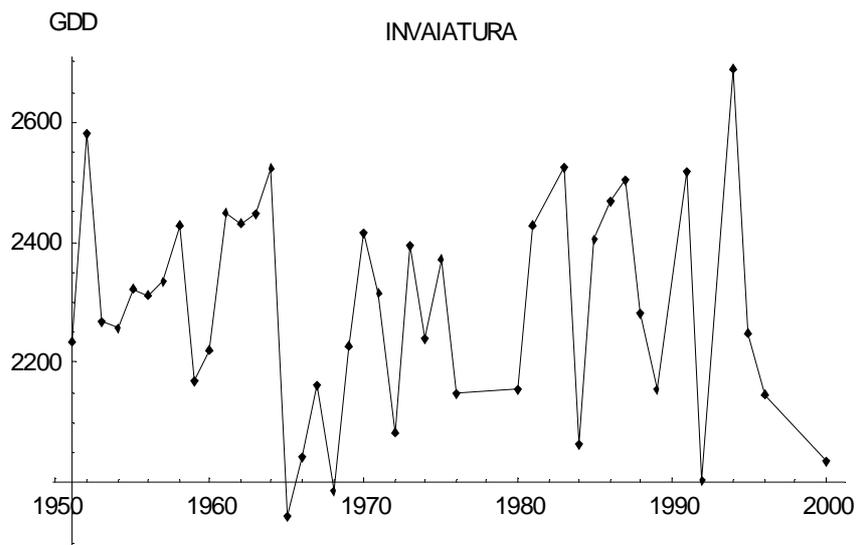
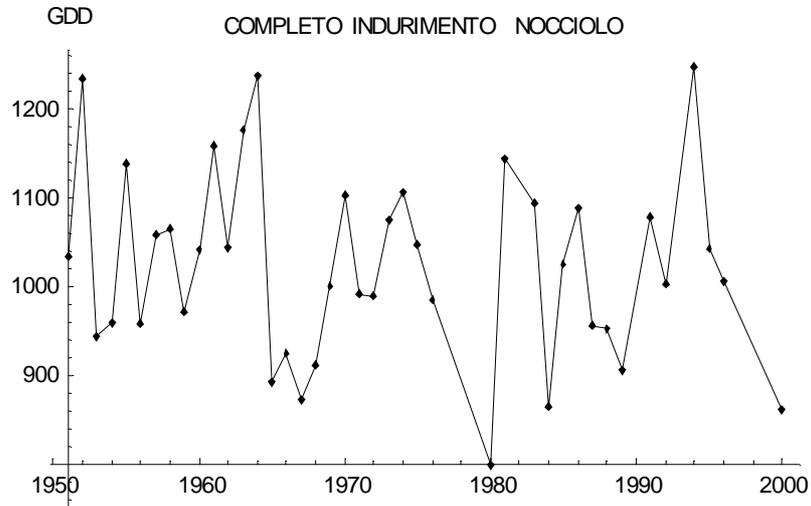


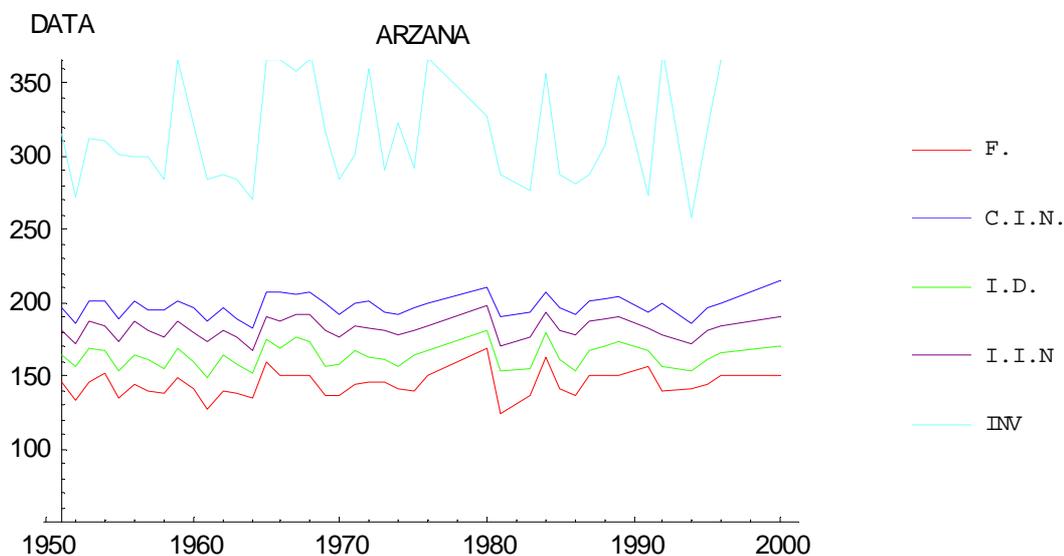


ARZANA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
144	FIORITURA	395.0	144 ± 8.9
163	INGROSSAMENTO DRUPE	573.6	163 ± 7.9
182	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	807.9	182 ± 6.9
197	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1024.3	198 ± 7.2
306	INVAIATURA	2291.0	315 ± 35.0

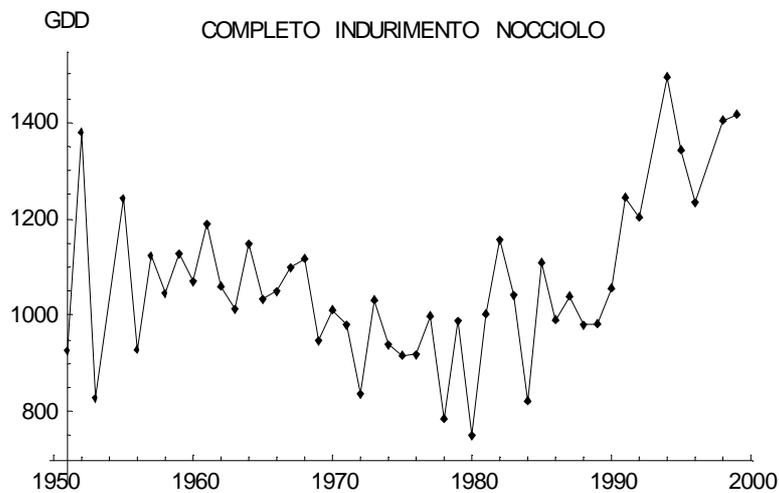
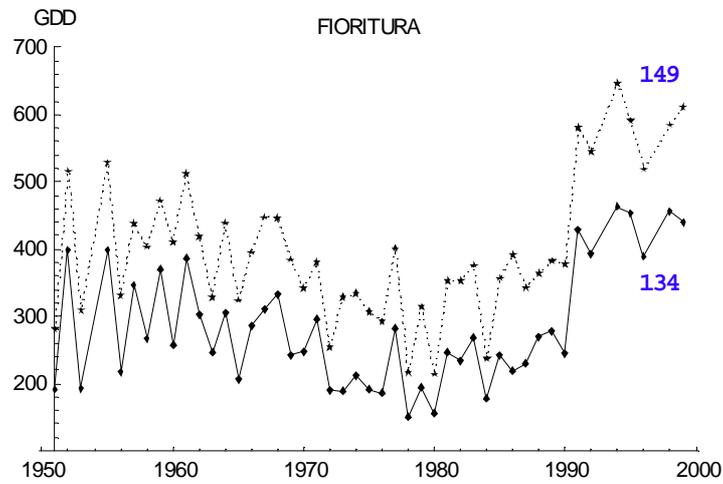


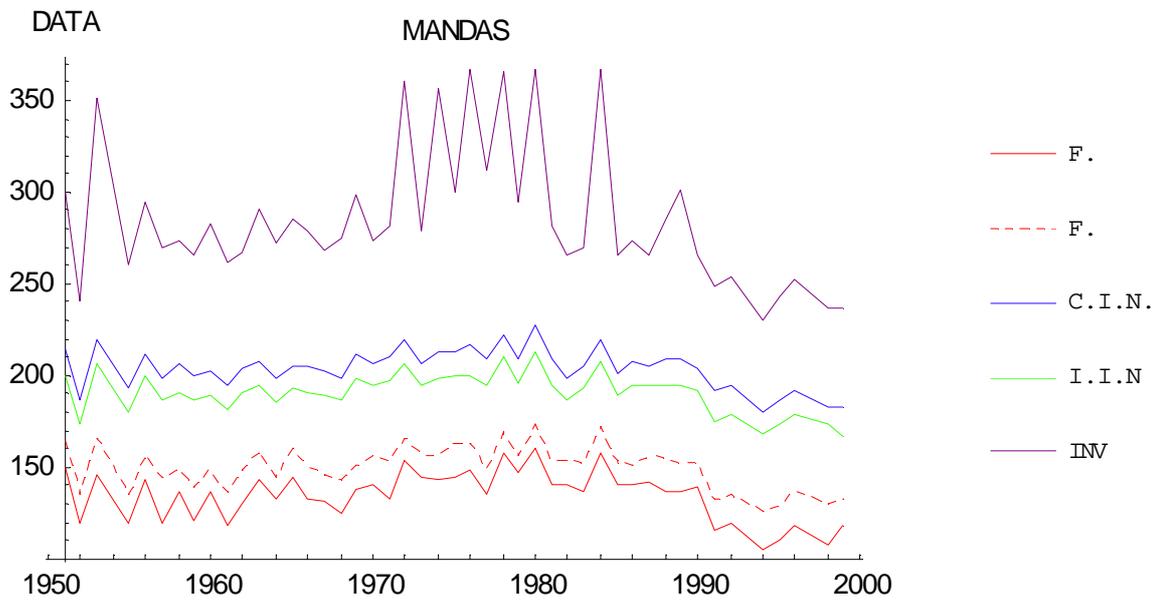
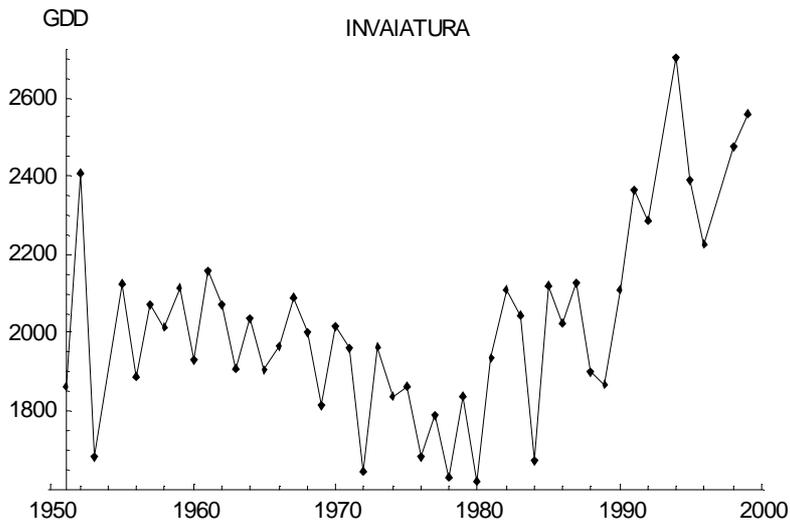




MANDAS

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
134 149	FIORITURA	282.2	135 ± 13.6
		399.6	150 ± 11.8
--	INGROSSAMENTO DRUPE	--	--
190	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	875.6	191 ± 10.6
203	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1065.6	204 ± 10.7
273	INVAIATURA	2017.1	286 ± 37.5

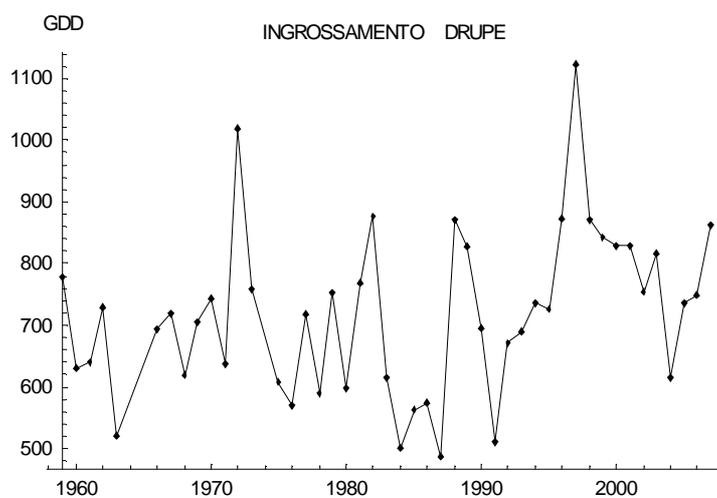
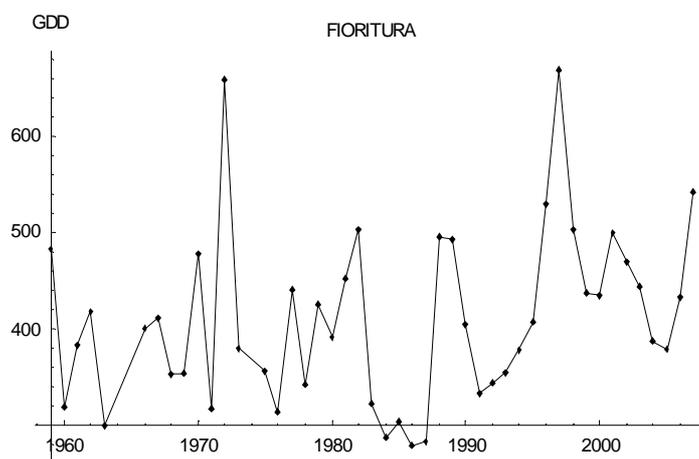


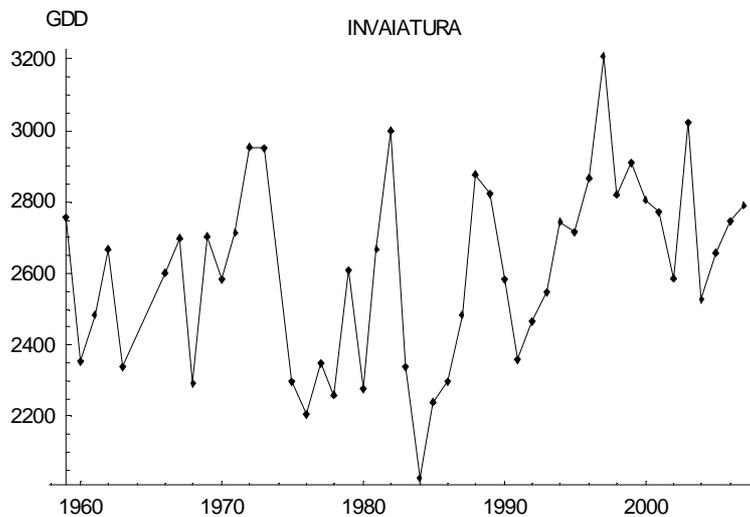
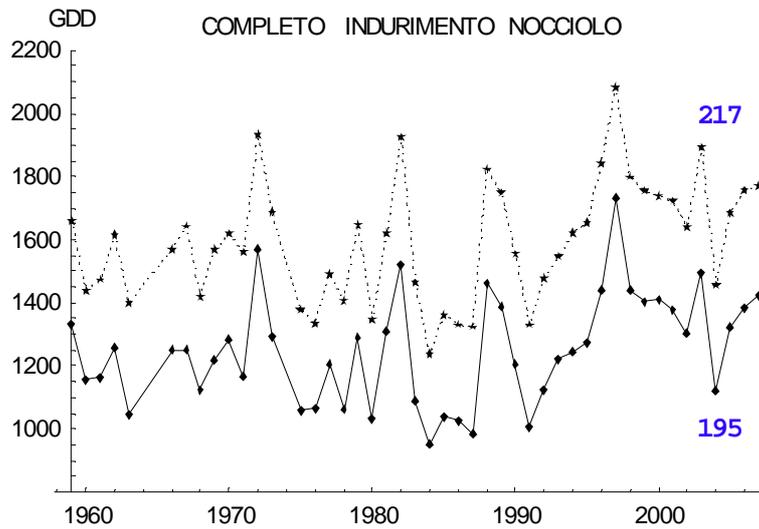
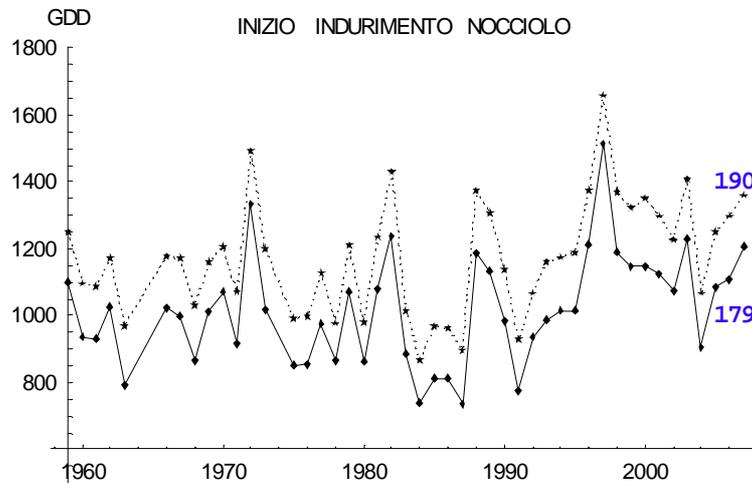


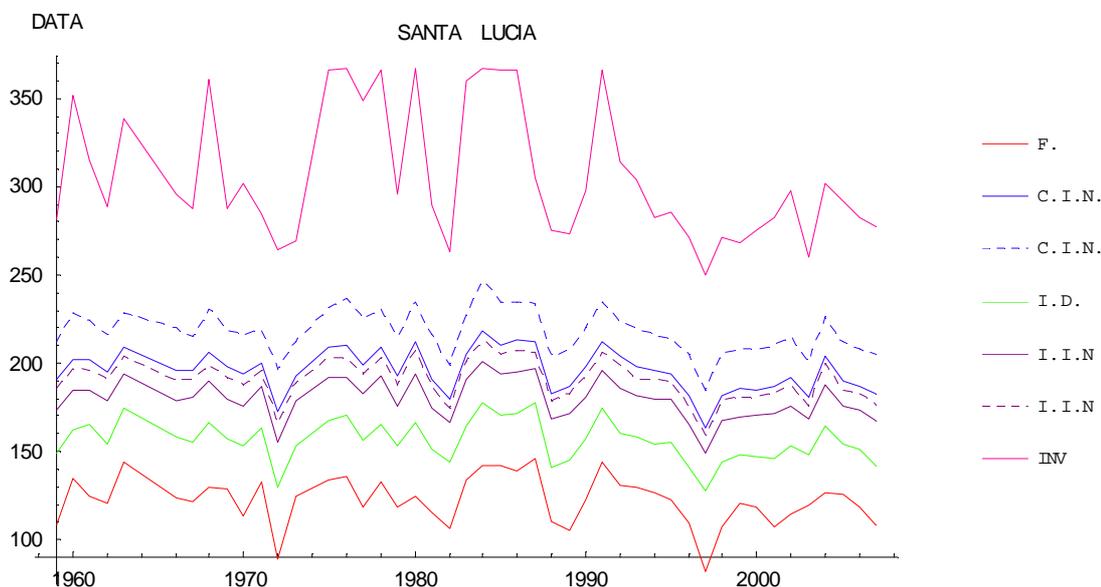


SANTA LUCIA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
122	FIORITURA	410.5	123 ± 13.7
55	INGROSSAMENTO DRUPE	718.0	156 ± 11.6
179 190	INIZIO INDURIMENTO NOCCILO	1017.2	180 ± 11.4
195 217	COMPLETO INDURIMENTO NOCCILO	1249.8	196 ± 11.8
		1594.6	218 ± 12.6
		1175.5	191 ± 11.4
295	INVAIATURA	2607.8	306 ± 37.4

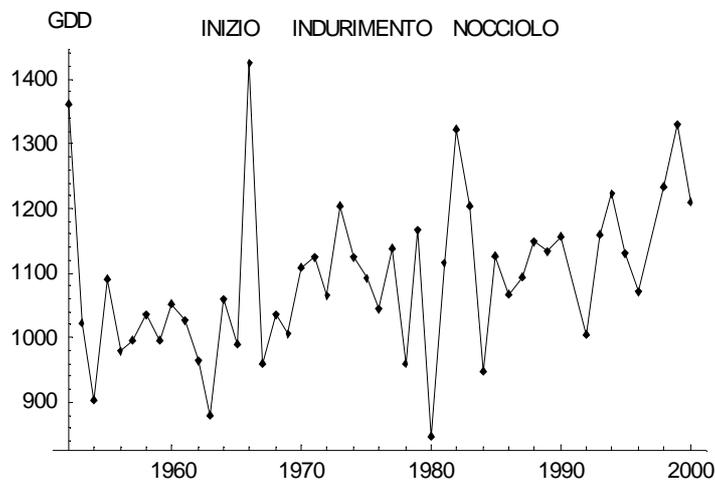
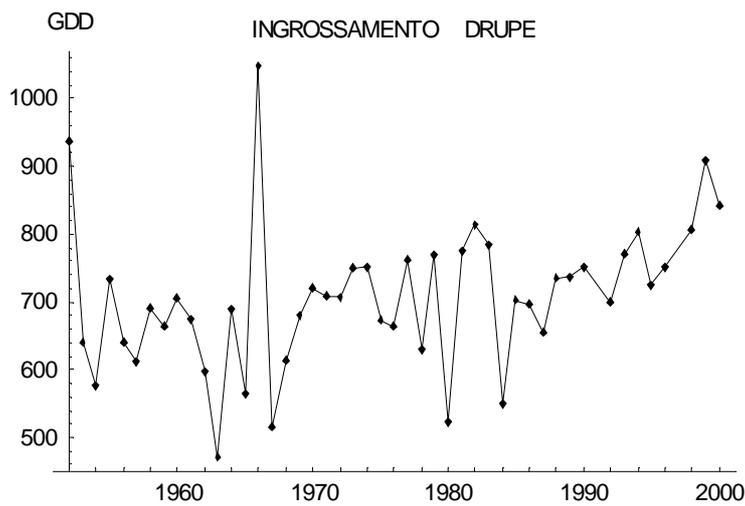
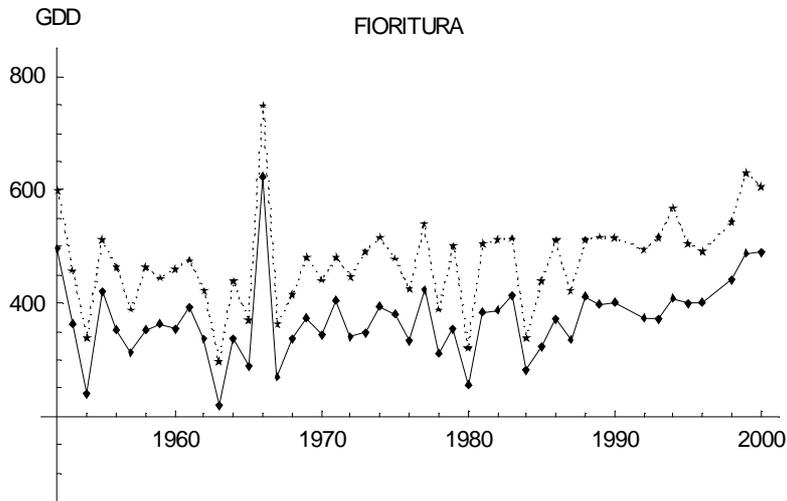


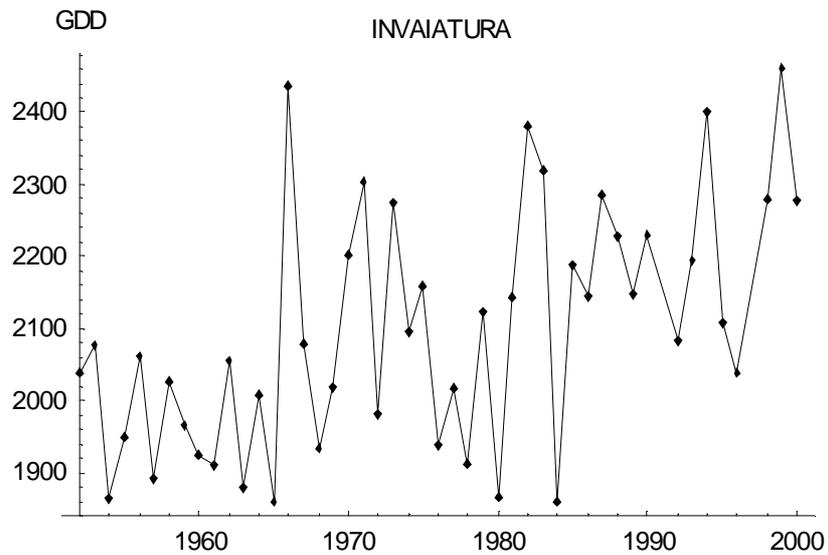
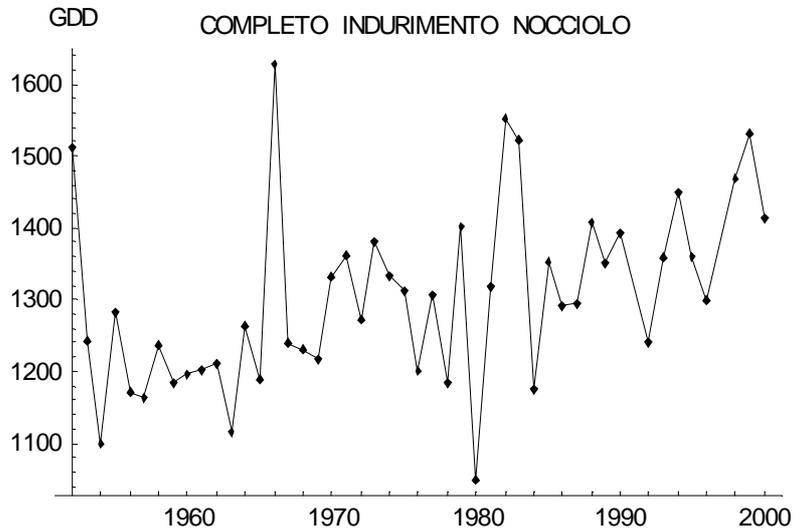


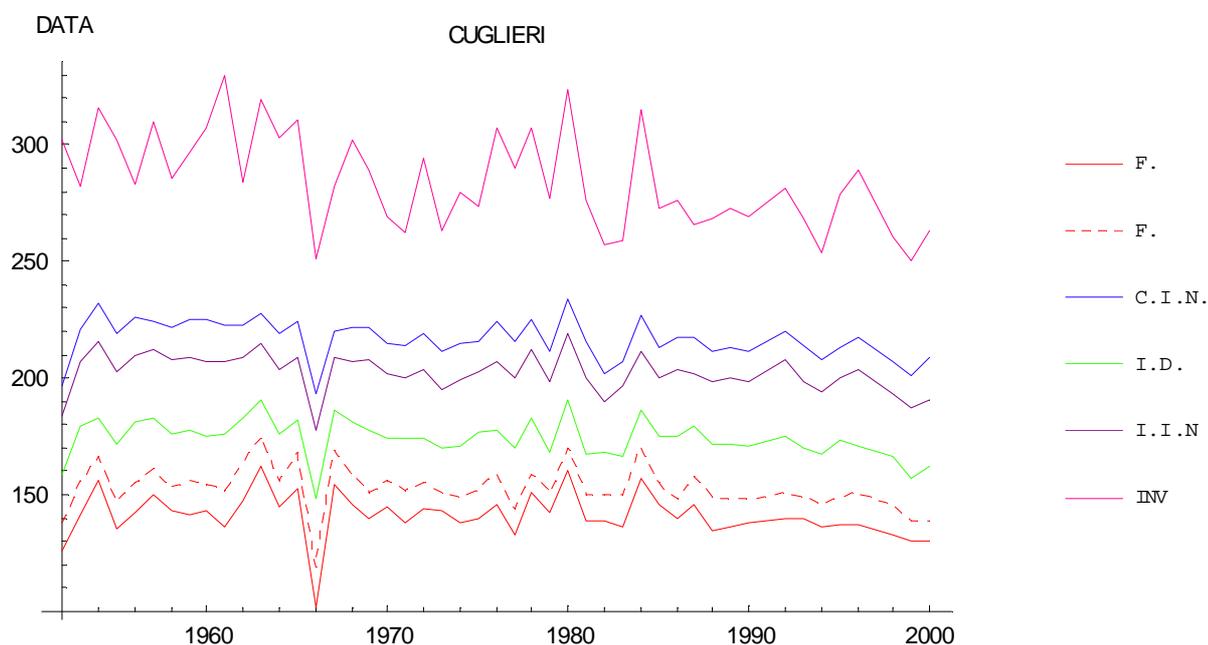


CUGLIERI

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
140 152	FIORITURA	370.4	141 ± 9.7
		474.5	153 ± 9.6
174	INGROSSAMENTO DRUPE	706.6	174 ± 8.3
202	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1092.1	202 ± 8.3
216	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1303.9	217 ± 8.5
279	INVAIATURA	2098.1	285 ± 20.8

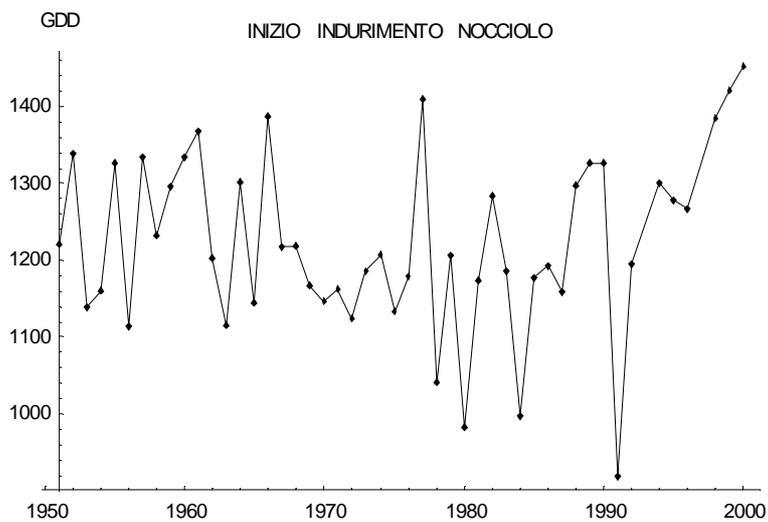
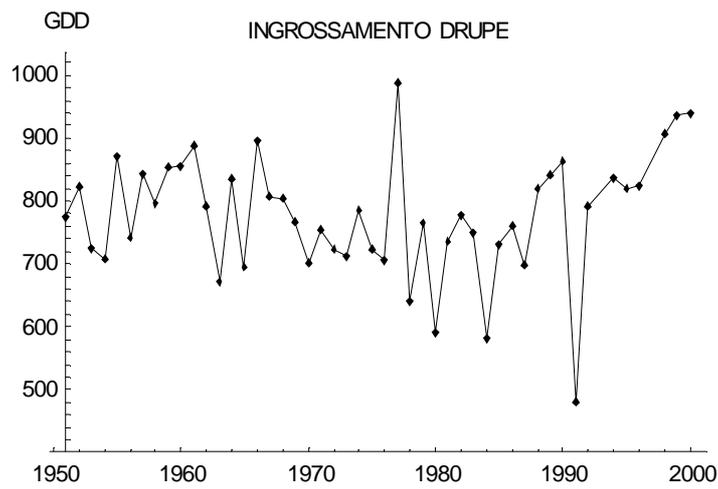
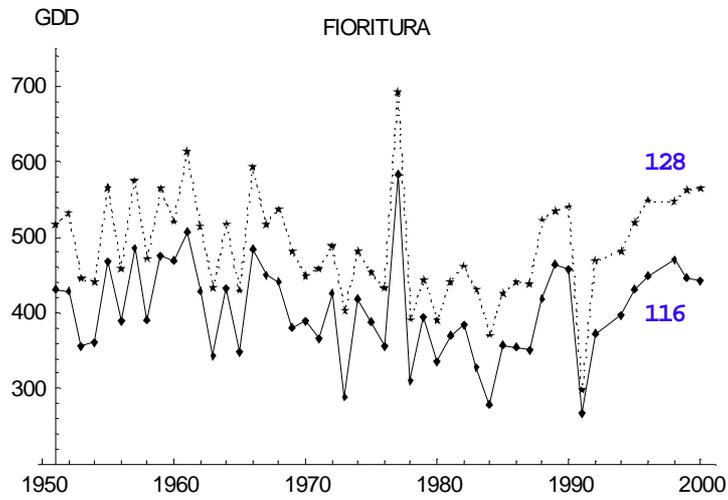


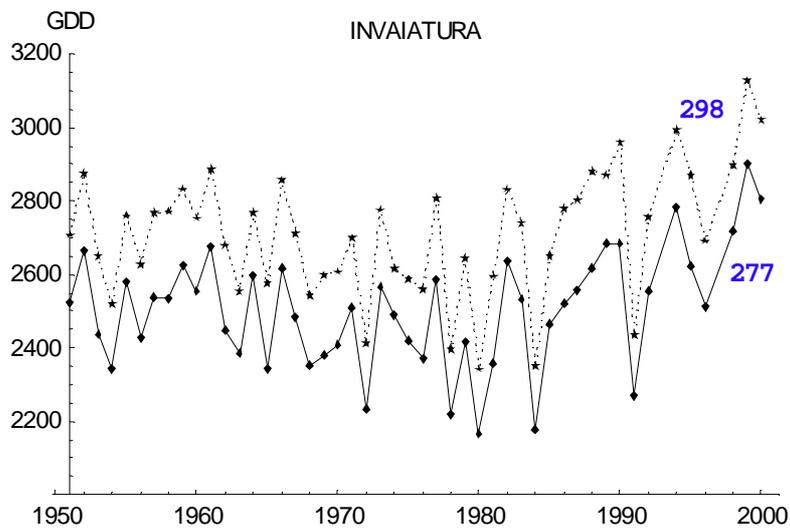
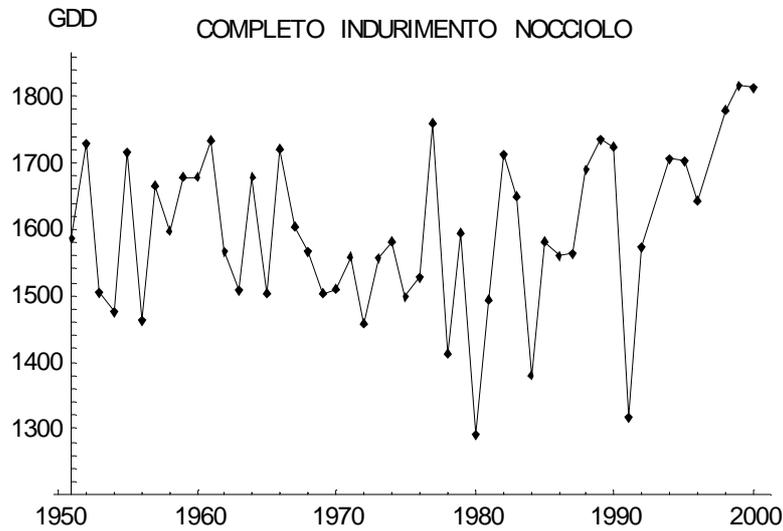


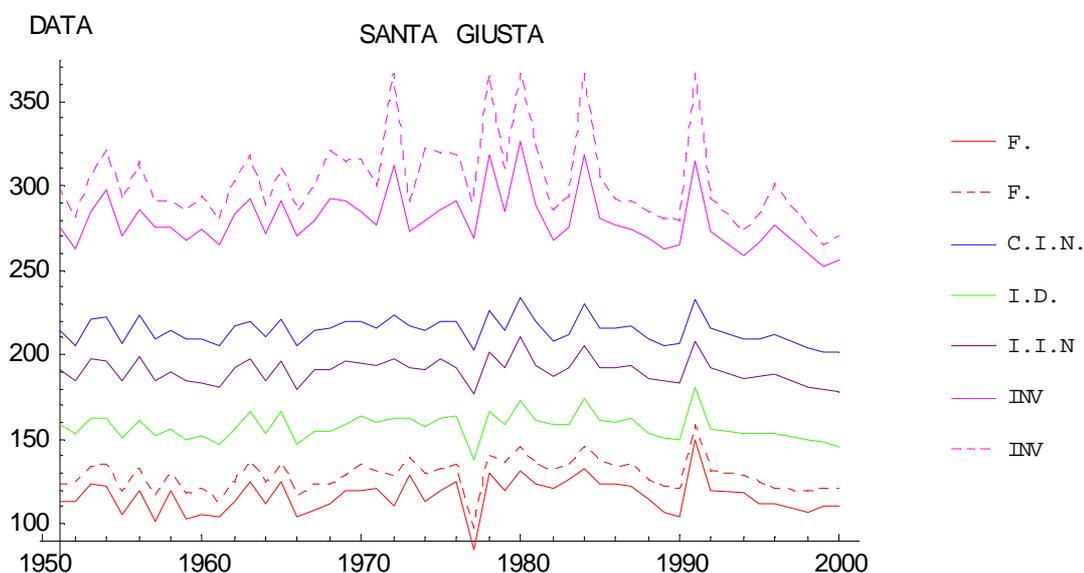


SANTA GIUSTA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
116 128	FIORITURA	403.4 487.8	116 ± 10.6 129 ± 9.8
157	INGROSSAMENTO DRUPE	777.6	158 ± 7.9
190	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1223.5	191 ± 7.5
214	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1597.2	215 ± 7.7
277 298	INVAIATURA	2505.9 2711.1	280 ± 16.6 304 ± 26.1

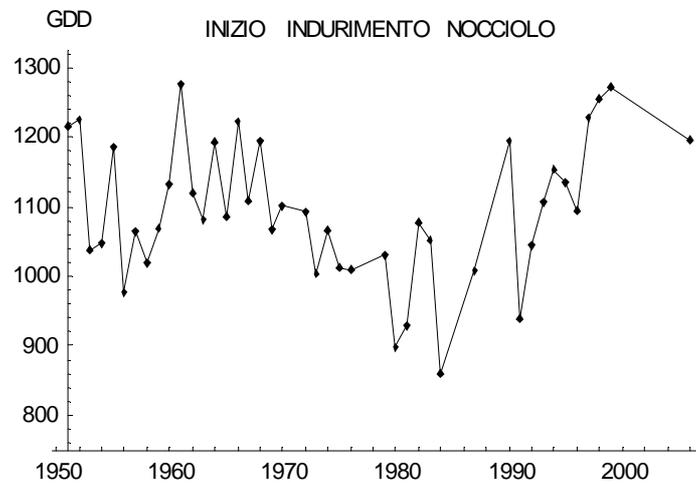
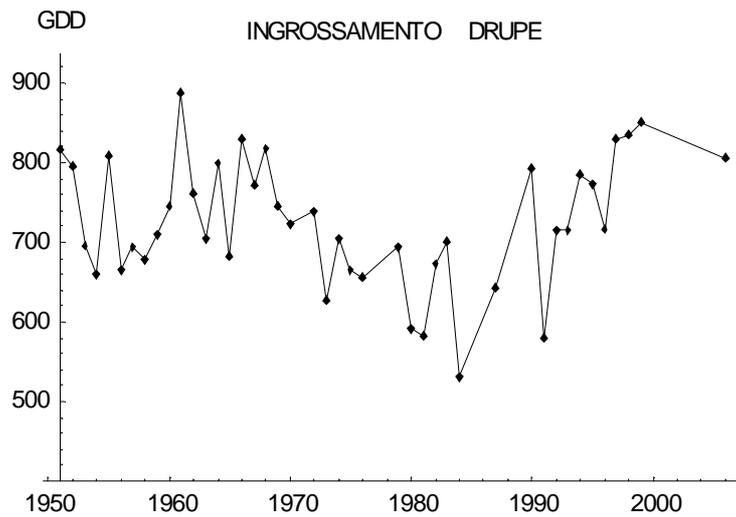
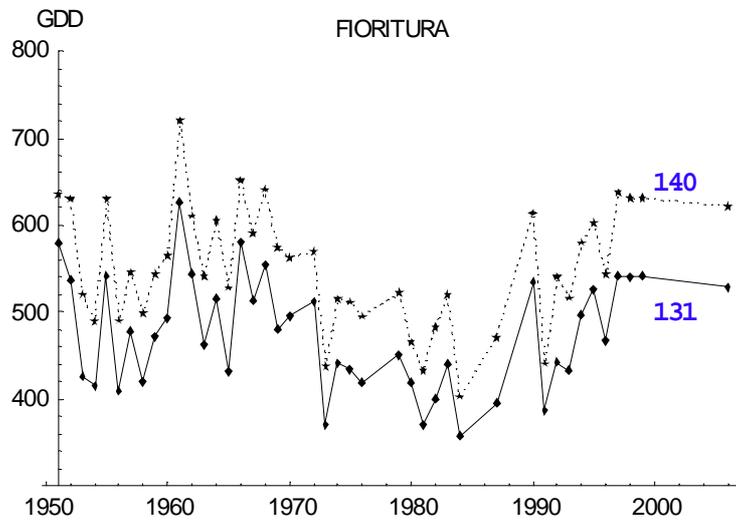


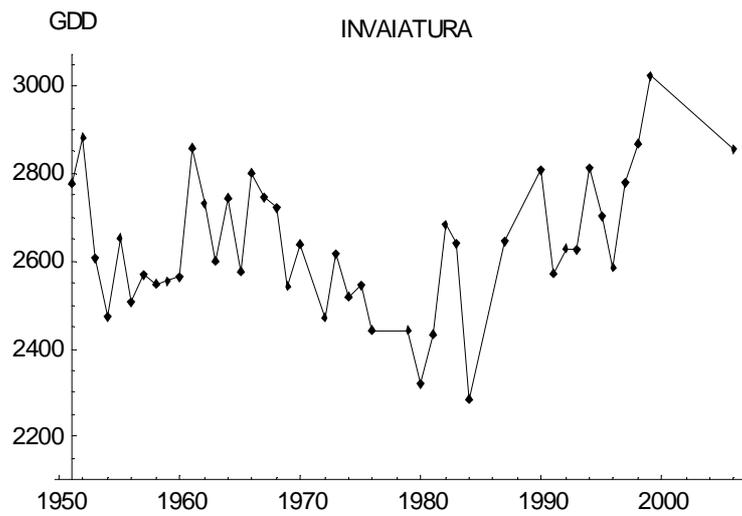
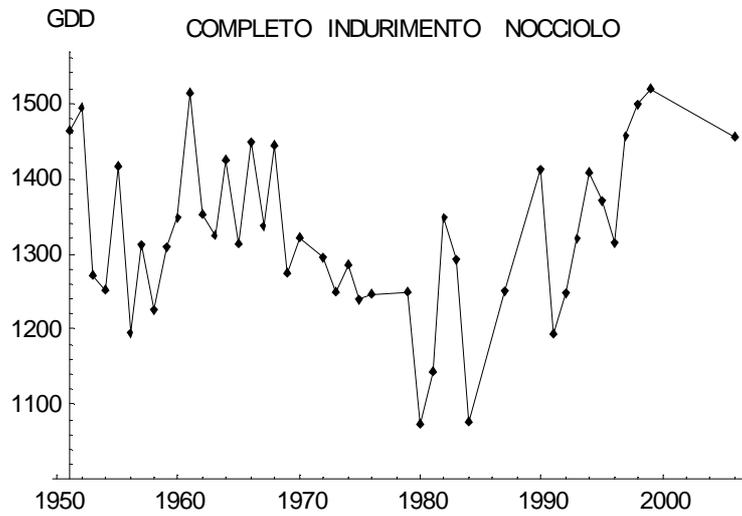


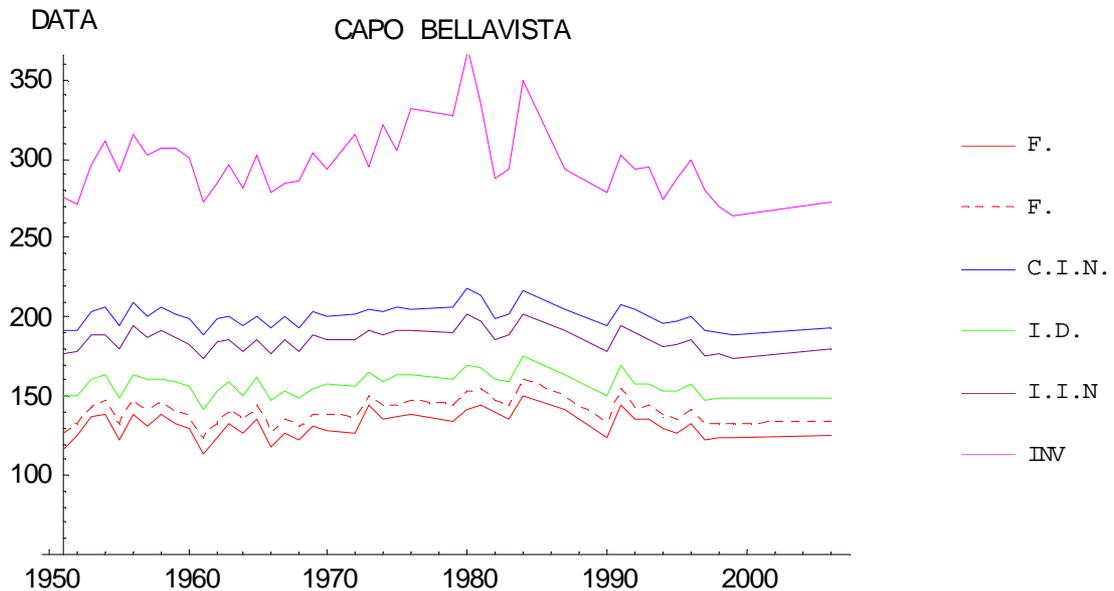


CAPO BELLAVISTA

DATA OSSERVATA	FASE FENOLOGICA	GDD MEDIO	DATA MEDIA
131	FIORITURA	475.0	132 ± 8.3
140		552.5	141 ± 8.1
157	INGROSSAMENTO DRUPE	725.4	157 ± 7.2
185	INIZIO INDURIMENTO NOCCIOLO	1094.6	186 ± 6.8
200	COMPLETO INDURIMENTO NOCCIOLO	1325.4	201 ± 7.0
293	INVAIATURA	2637.3	298 ± 21.6







4. Conclusioni.

L'analisi esplorativa presentata in questa nota non presenta risultati definitivi. Essa mostra sostanzialmente come lo studio della data di raggiungimento di una prefissata soglia di gradi giorno sia strettamente collegata all'analisi della temperatura media giornaliera: come questa, pertanto, non mostra in Sardegna, almeno per la soglia considerata, andamenti chiari ed univoci.

Inoltre, i dati di alcune delle stazioni considerate vanno considerati con cautela (si veda l'Appendice). Ci sono alcune stazioni che presentano un salto all'inizio del periodo di osservazione (Armungia, Busachi e Macomer); stazioni che presentano un salto alla fine del periodo (Alà dei Sardi, Mandas ed Orosei); due stazioni, Villacidro e Villanovatulo, che presentano un salto circa a metà del periodo. Infine, la stazione di Colonia Penale Sarcidano mostra una sequenza di temperature medie molto basse a cavallo del 1970, mentre Muravera mostra un andamento delle temperature di tipo "a V" non confrontabile con nessun altro andamento. Tutti questi fattori fanno dubitare della possibilità di eseguire un'analisi attendibile alla scala regionale.

Tuttavia, l'osservazione dei grafici a scala di stazione mostra come sia presente, negli ultimi 20 anni, un deciso anticipo nel raggiungimento delle diverse fasi, pari a circa 10-15 giorni in generale. Tale tendenza, seppur non confortata statisticamente a causa della ridotta lunghezza della serie fa supporre una sovrapposizione con quanto riportato negli studi a scala globale.



Bibliografia

Allen J.C. (1976) A modified sine wave method for calculating degree days, *Environmental Entomology* 5, 388-396.

Baskerville G., Emin P. (1969) Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50, 514-515

Cislaghi M., De Michele C., Ghezzi A., Rosso R. (2005) Statistical assessment of trends and oscillations in rainfall dynamics: Analysis of long daily Italian series. *Atmospheric Research* 77, 188-202

Cossu Q.A., Bodini A. (2009) Rapporto PR2.1.1 - Rappresentazione in ambiente GIS della caratterizzazione dell'area di progetto sulla base degli indici di variabilità interannuale e intra-annuale dei campi di precipitazione e piovosità. ARPAS - Dipartimento Provinciale di Sassari

De Melo-Abreu JP, Barranco D, Cordeiro AM, Tous J, Rogado BM, Villalobos FJ (2004) Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agriculture and Forest Meteorology* 125,117-127.

Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank A., Peterson T. (2002) Global changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century. *Climate Research* 19, 193–212.

Gutierrez A.P., Ponti L., Cossu Q.A. (2009) Effects of climate warming on Olive and olive fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) in California and Italy. *Climate Change* 95, 195-217.

Ponti L., Cossu Q. A., Gutierrez A. P., (2009) Climate warming effects on the *Olea europaea*-*Bactrocera oleae* system in Mediterranean islands: Sardinia as an example. *Global Change Biology*, DOI 10.1111/j.1365-2486.2009.01938.x.

Hirsch R. M., J. R. Slack, R. A. Smith (1982) Techniques of trend analysis for monthly water-quality data, *Water Resources Research* 18, 107-121.

Kendall M., Ord J. K. (1990). *Time Series*. Edward Arnold, London

Nicholls N. (2001) The insignificance of significance testing. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 981-986.

Roltsch W.J., Zalom F.G., Strawn A.J., Strand J.F., Pitcairn M.J. (1999). Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates. *International Journal of Biometeorology* 42, 169-176

Sen P.K. (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 143. WMO No. 415, TP-103, Geneva, World Meteorological Organization. Geneva, pp: 192

Spano D., Cesaraccio C., Duce P., Snyder R.L. (1999) Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *International Journal of Biometeorology* 42, 124-133.



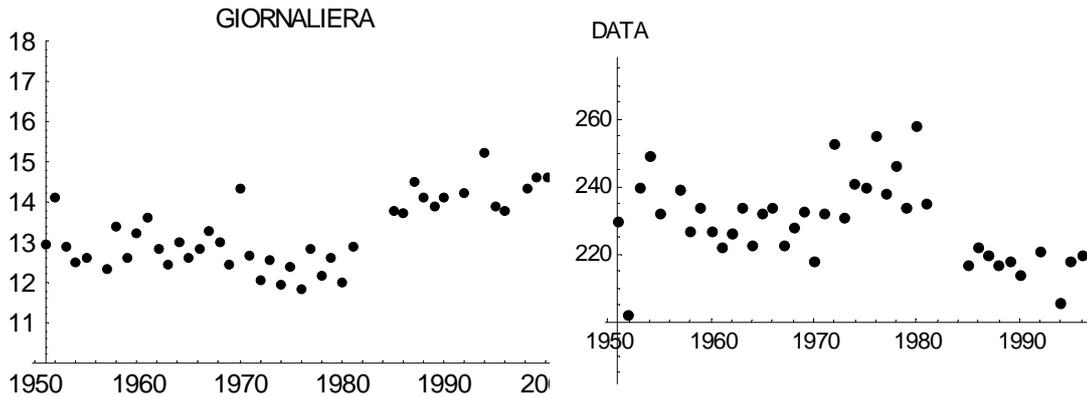
Wigley T.M.L. (2006) Appendix A: Statistical issues regarding trends. In Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences, Karl TR, Hassol SJ, Miller CD, Murray WL (eds). A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington DC.

Wilson L.T., Barnett W.W. (1983) Degree-days: an aid in crop and pest management. California Agriculture Jan.-Feb., 4-7.

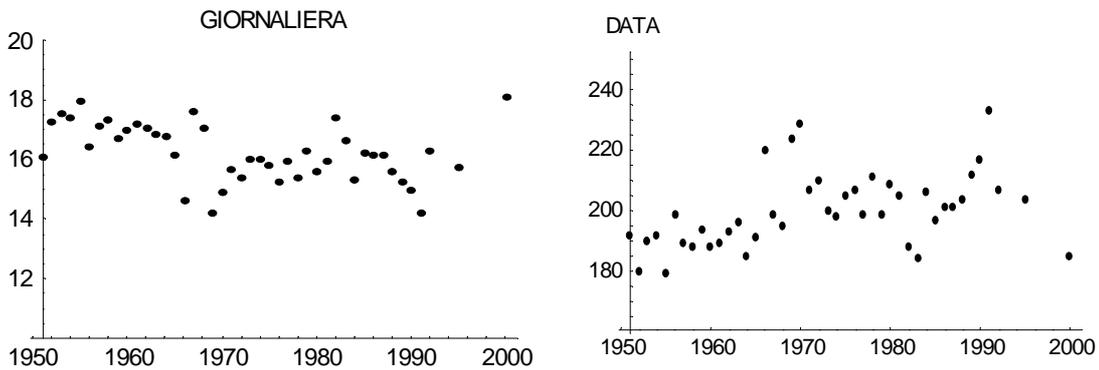
Appendice

Per le stazioni indicate in Tabella 1 vengono riportati, a confronto, i grafici della temperatura giornaliera e della data raggiungimento di 1239 gradi giorno, in numero di giorni a partire dal primo gennaio.

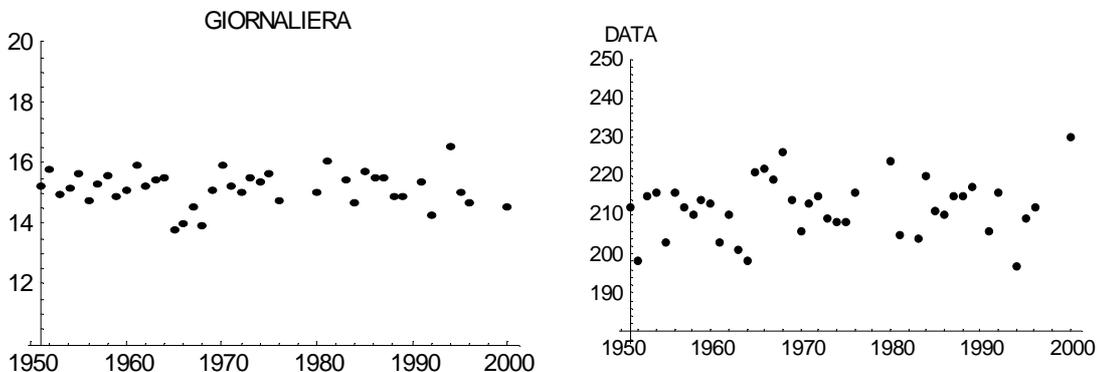
ALÀ DEI SARDI



ARMUNGIA

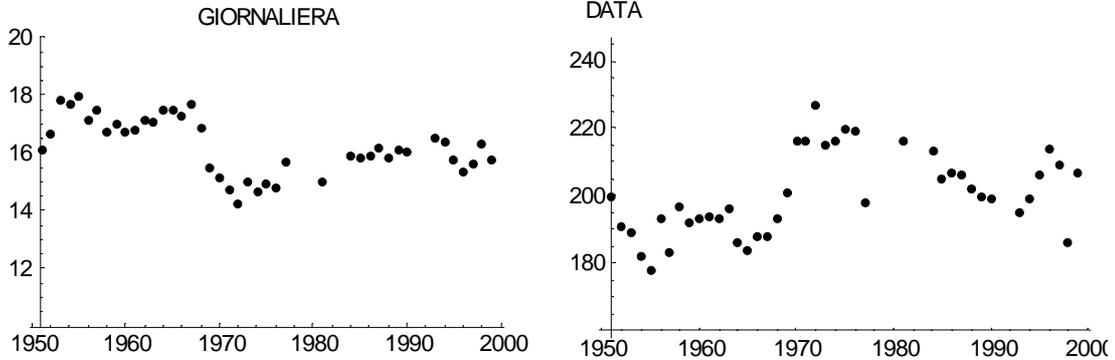


ARZANA

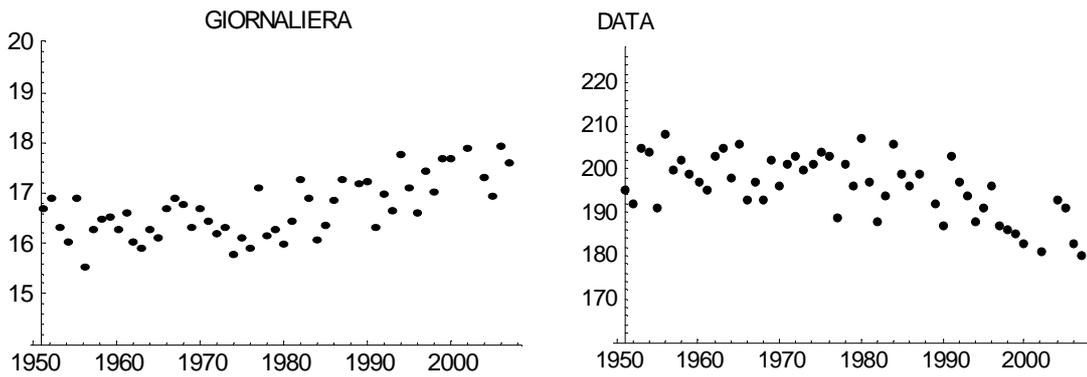




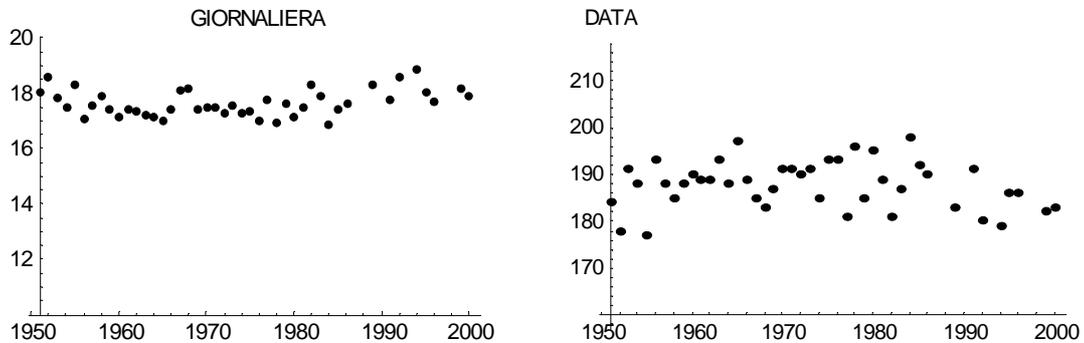
BUSACHI



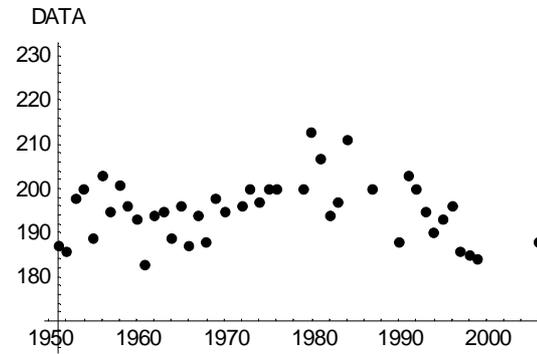
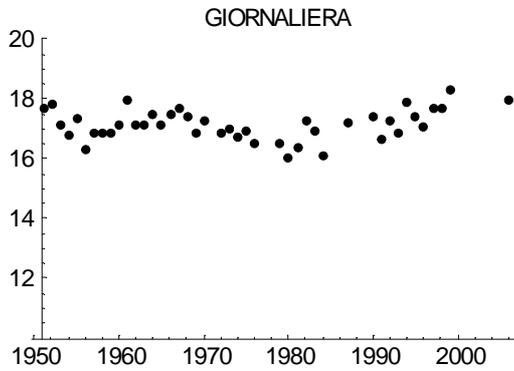
CAGLIARI ELMAS



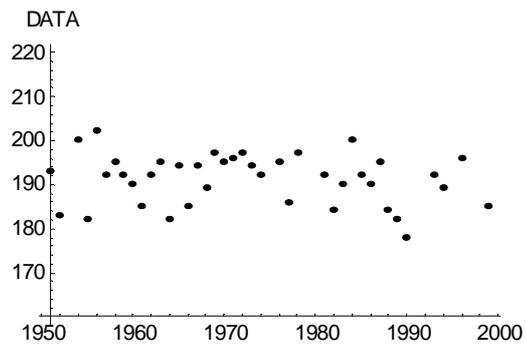
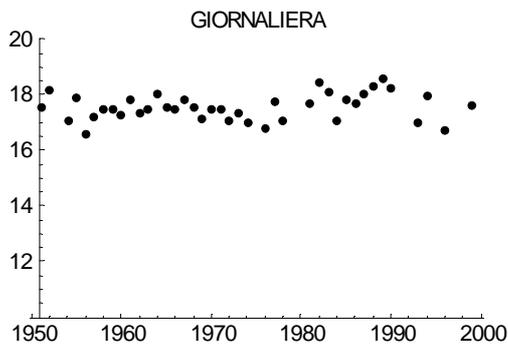
CAGLIARI S.I.



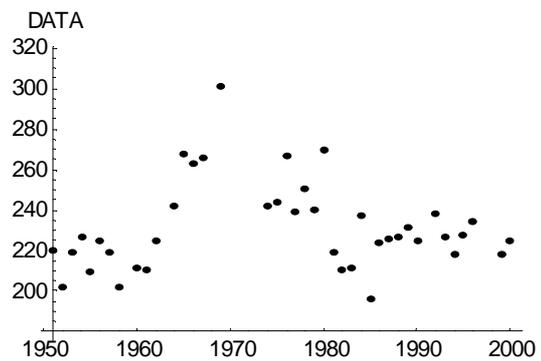
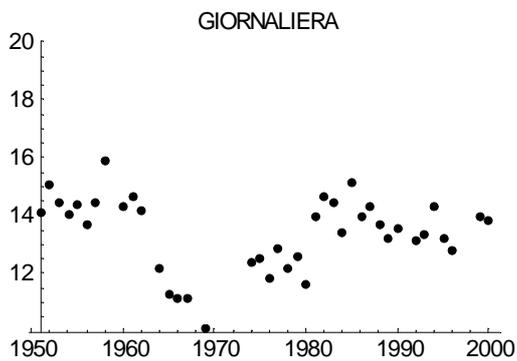
CAPO BELLAVISTA



CARLOFORTE

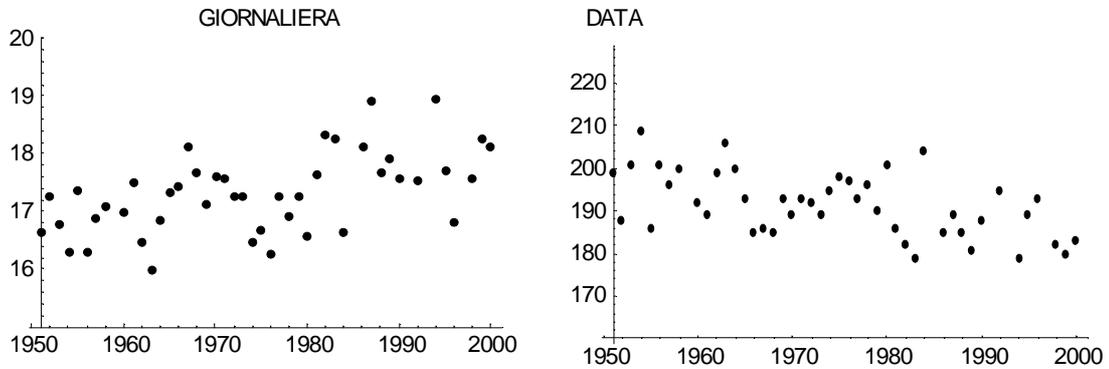


COLONIA PENALE SARCIDANO

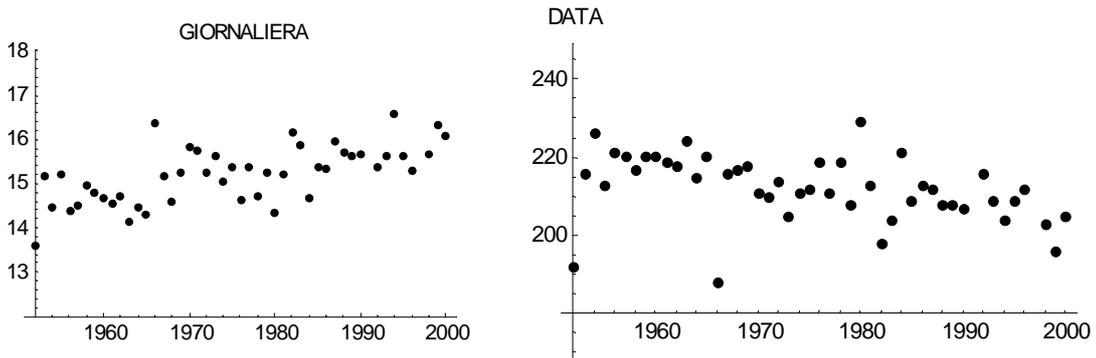




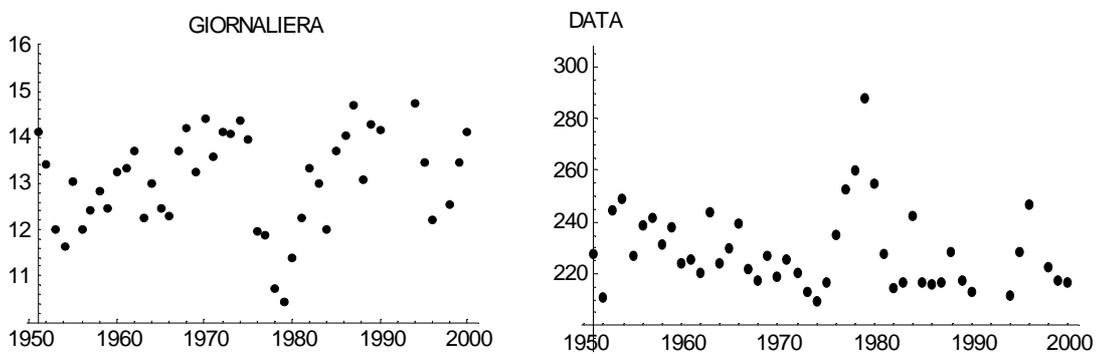
CORONGIU



CUGLIERI

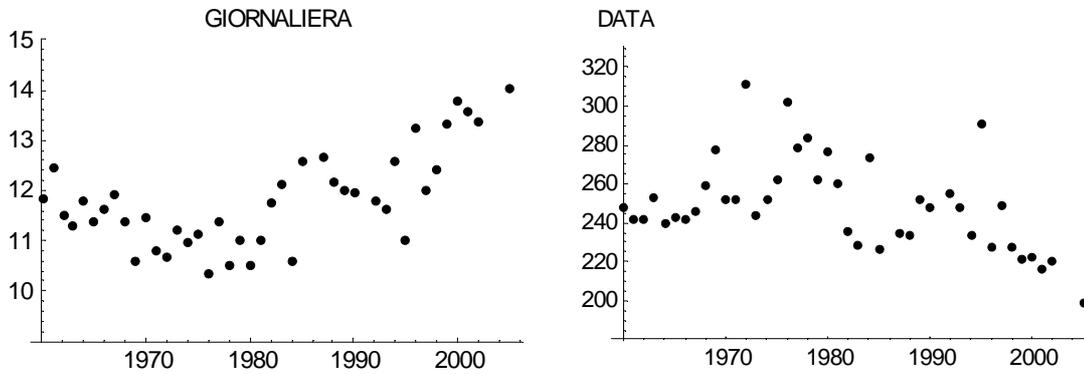


DESULO

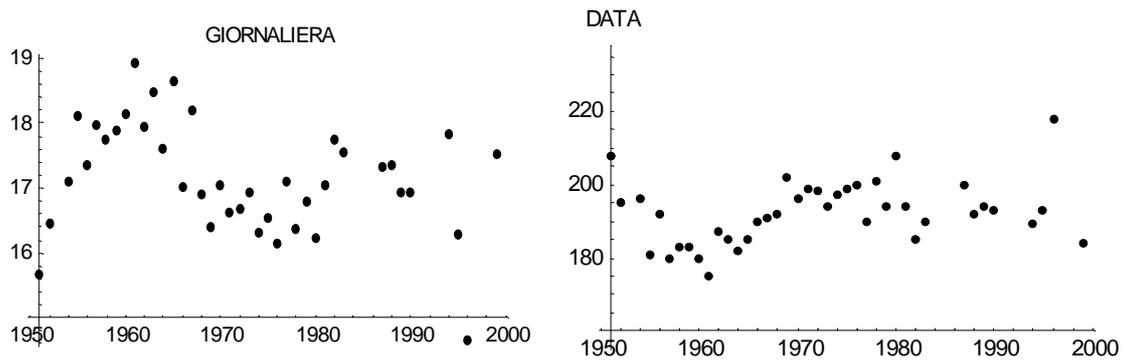




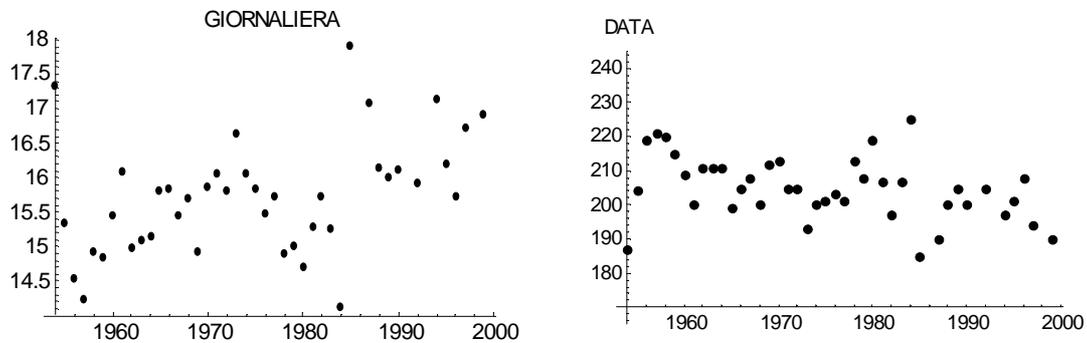
GENNA SILANA



IGLESIAS

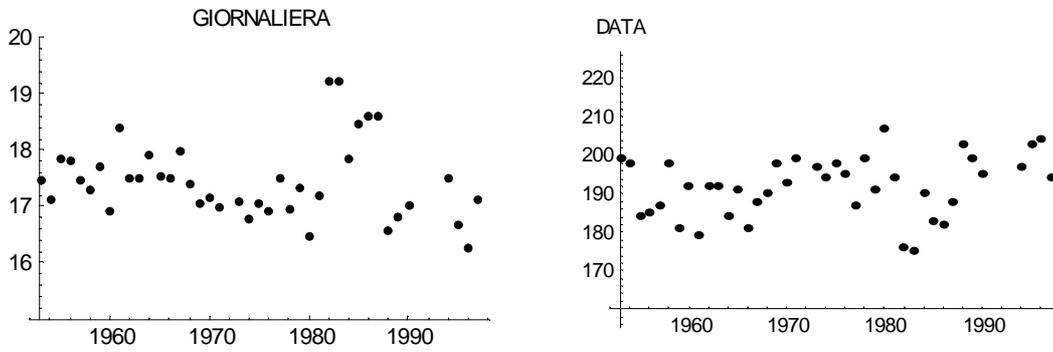


JERZU

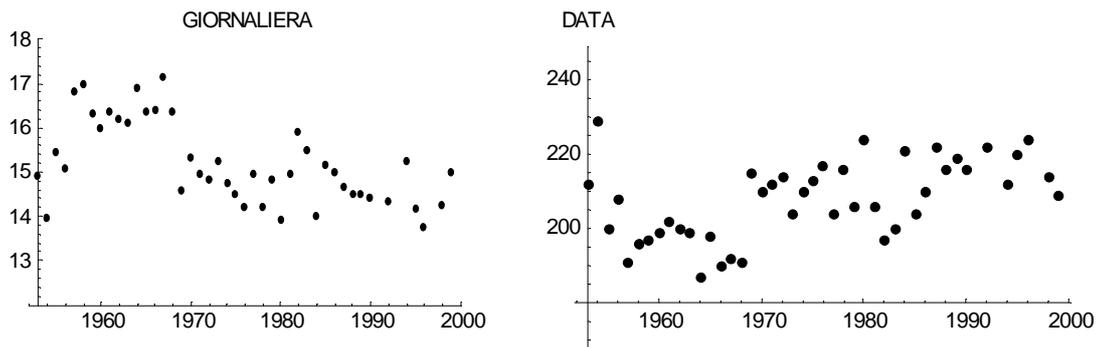




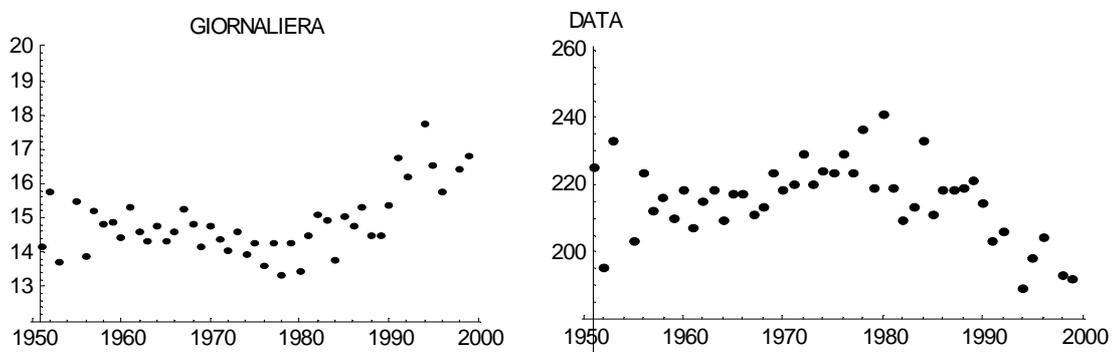
LA MADDALENA



MACOMER

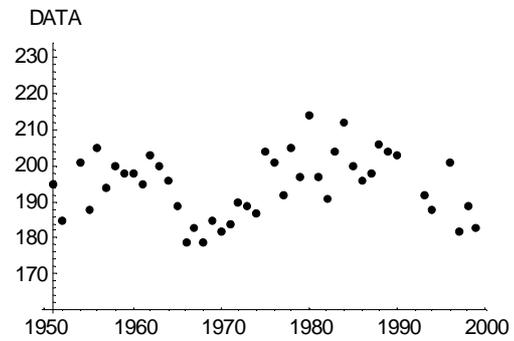
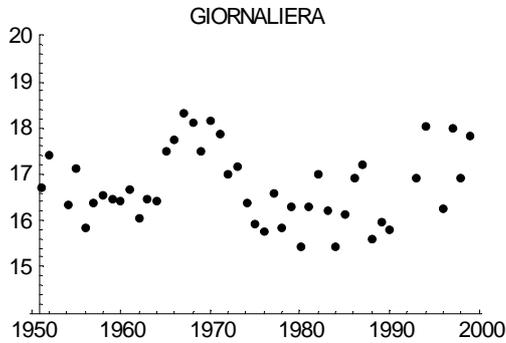


MANDAS

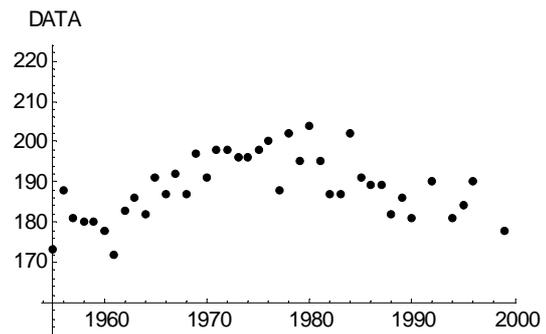
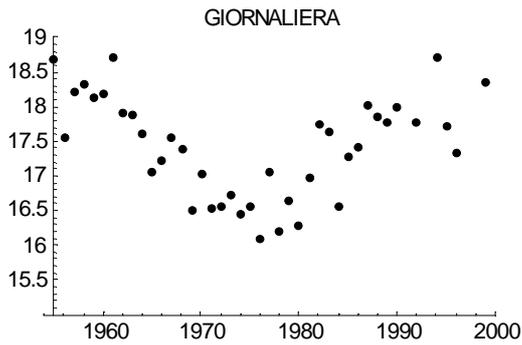




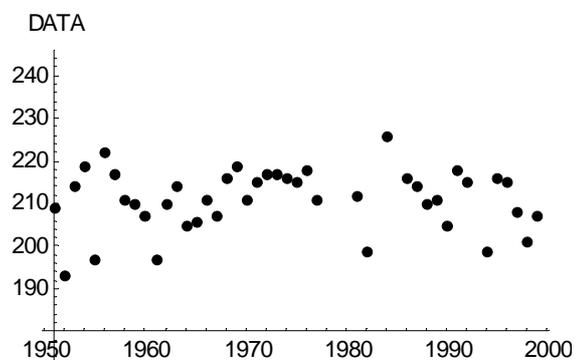
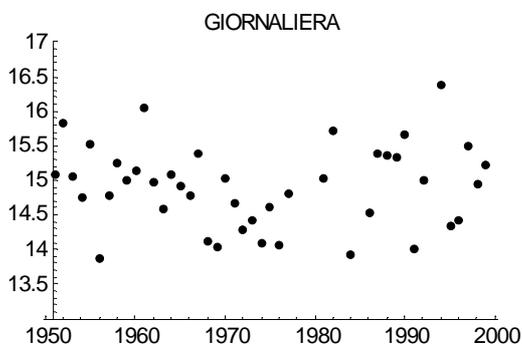
MOGORO DIGA



MURAVERA

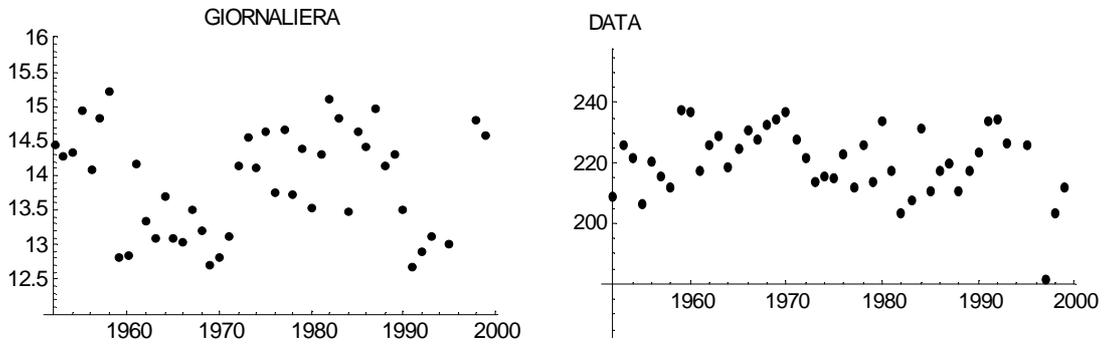


NUORO

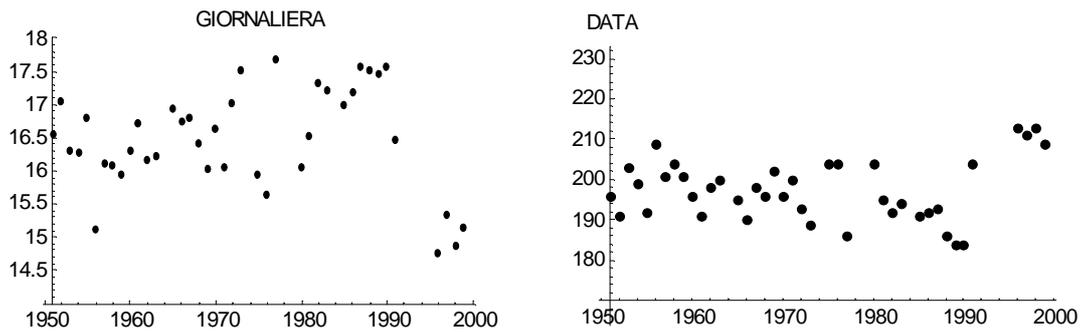




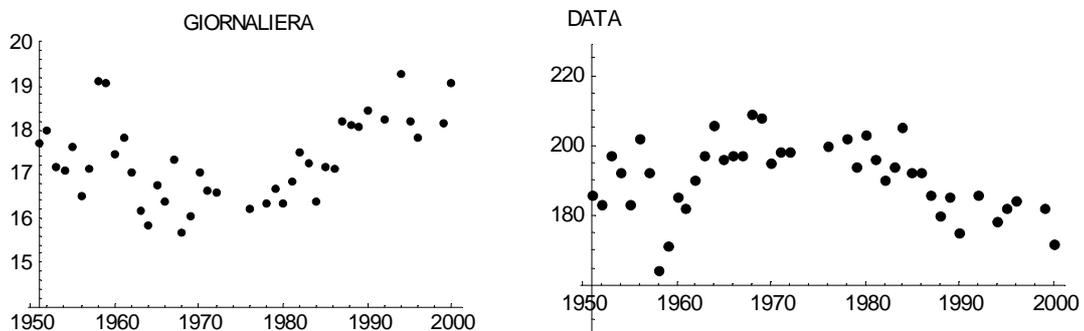
NURRI



OLBIA

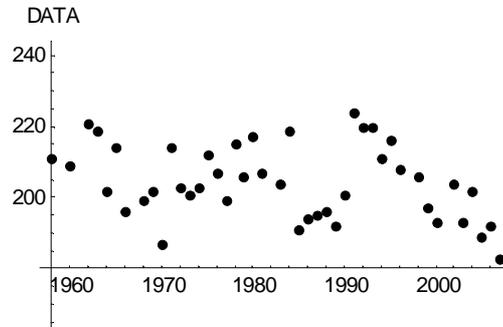
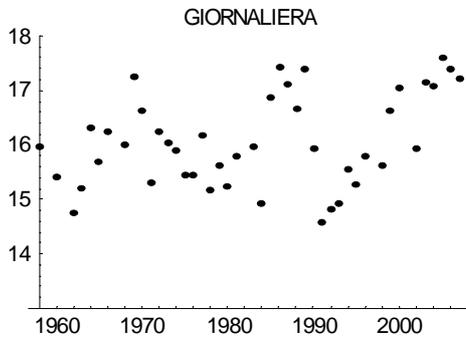


OROSEI

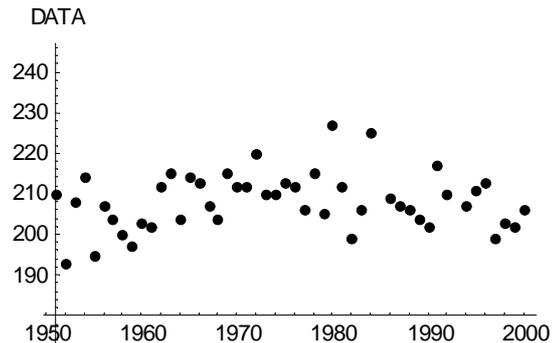
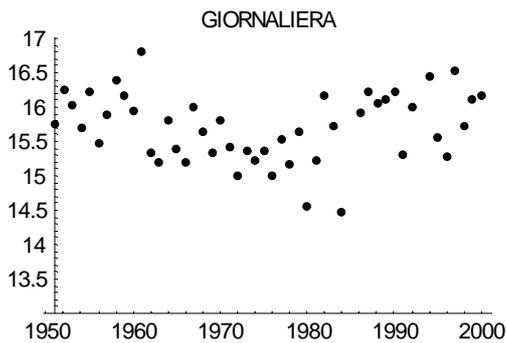




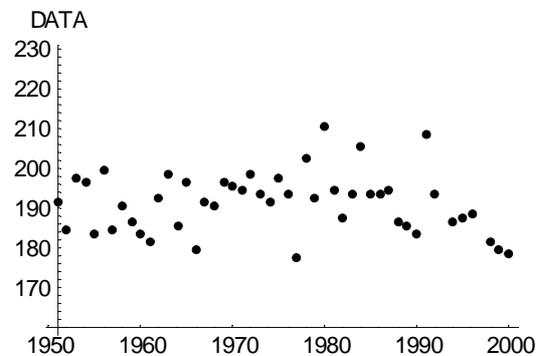
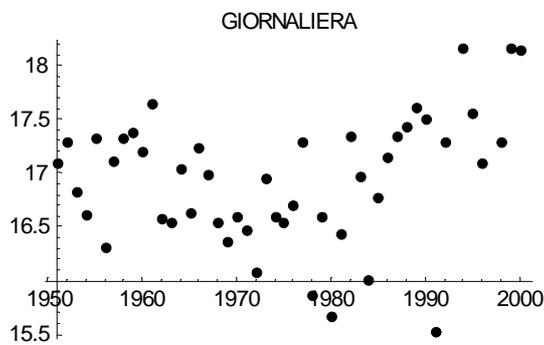
OTTAVA



SAN GIOVANNI COGHINAS

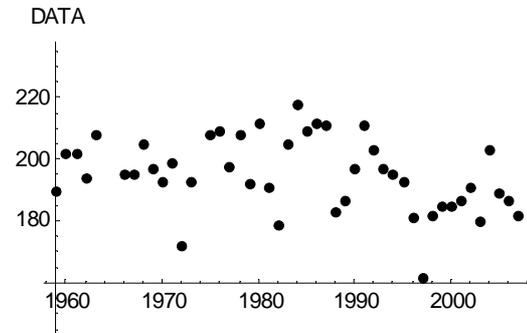
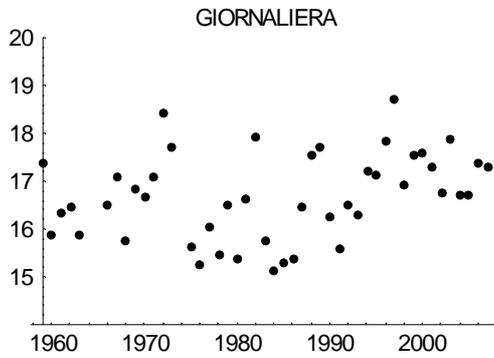


SANTA GIUSTA

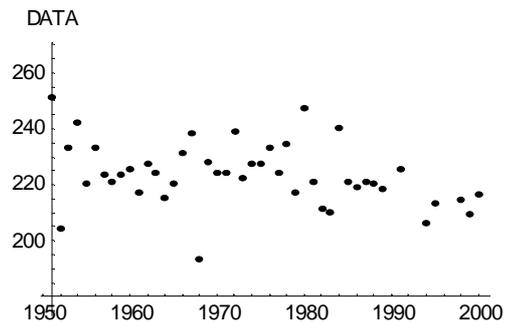
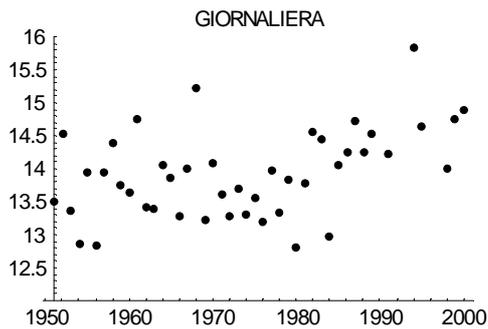




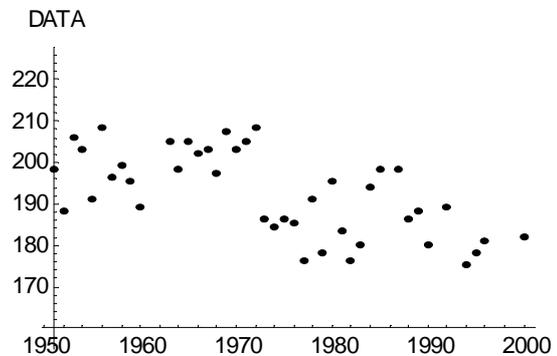
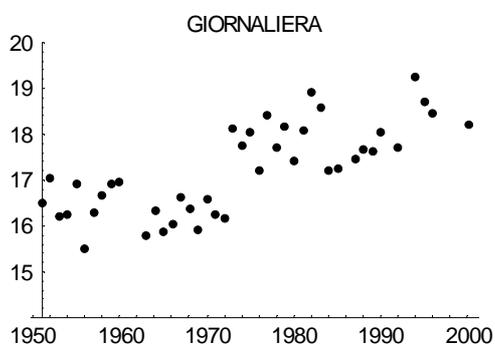
SANTA LUCIA



TEMPIO

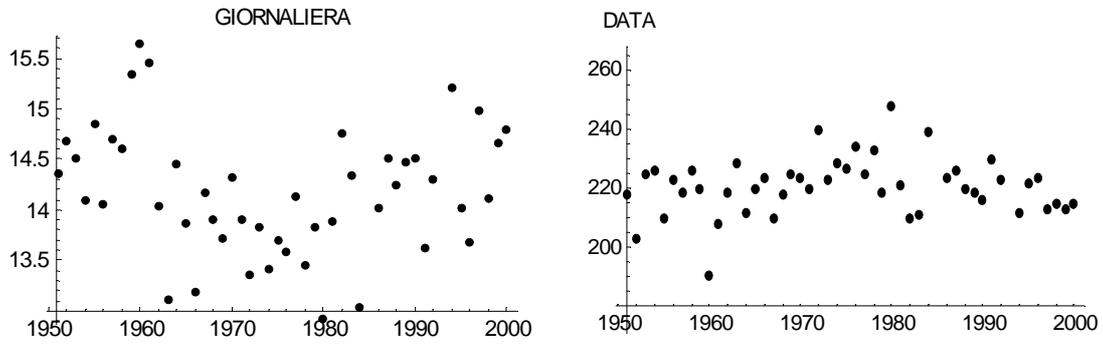


VILLACIDRO





VILLANOVA MONTELEONE



VILLANOVATULO

