



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI**



**DIPARTIMENTO DI AGRARIA**

*Sezione di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Genetica*

*Scuola di dottorato*

SCIENZE E BIOTECNOLOGIE DEI SISTEMI AGRARI E FORESTALI  
E DELLE PRODUZIONI ALIMENTARI

*Indirizzo*

Produttività delle Piante Coltivate

XXV Ciclo

*Studio dei principali fattori che influenzano l'insorgenza  
dell'atrofia del capolino in carciofo Spinoso Sardo*

Dott.ssa Anna Paola Chergia

Direttore della Scuola: Prof. ssa Alba Pusino

Referente di Indirizzo: Prof. ssa Rosella Motzo

Docente Guida: Dott. Luigi Ledda

Anno Accademico 2011-2012

## INDICE

<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>1. Capitolo 1 - Messa a punto di un modello semplificato per la previsione dell'insorgenza dell'atrofia del capolino</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Materiali e metodi</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Risultati</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Discussione</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Conclusioni</b>	<b>13</b>
<b>1.6 Bibliografia</b>	<b>14</b>
<b>2. Capitolo 2 - Studio dell'effetto delle temperature sulla differenziazione della gemma apicale</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Introduzione</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Materiali e Metodi</b>	<b>18</b>
2.2.1 Siti sperimentali	18
2.2.2 Materiale vegetale	20
2.2.3 Disegno sperimentale e trattamenti	21
2.2.4 Gestione agronomica della prova	21
2.2.5 Rilievi	22
2.2.6 Analisi statistica	23
<b>2.3 Risultati</b>	<b>23</b>
2.3.1 Andamento meteorologico	23
2.3.2 Rilievi fisiologici, biometrici atrofia I anno	25
2.3.3 Rilievi fisiologici, biometrici atrofia II anno	30
<b>2.4 Discussione</b>	<b>35</b>
<b>2.5 Conclusioni</b>	<b>37</b>
<b>2.6 Bibliografia</b>	<b>38</b>
<b>3. Capitolo 3 - Differenziazione della gemma apicale in Carciofo: interazione tra temperature e applicazione di acido gibberellico</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Introduzione</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Materiali e Metodi</b>	<b>43</b>
3.2.1 Rilievi	45
<b>3.3 Risultati</b>	<b>45</b>
3.3.1 Trend termico	45
3.3.2 Parametri fisiologici	46
3.3.3 Capolini atrofici	48
<b>3.4 Discussione e conclusioni</b>	<b>49</b>
<b>3.5 Bibliografia</b>	<b>51</b>

## ABSTRACT

Head atrophy often observed on globe artichoke cv Spinoso sardo can be mainly related to GA3 application or to air temperature over 26°C during the apical bud differentiation. The relationships between air temperature and plant water status during bud differentiation, as well as air temperature and GA3 application, are not yet studied. The topics of the thesis are relevant in plant physiology and for their applicability in globe artichoke open field growing.

In chapter 1 we validated and implemented a simplified degree days prevision model, suitable to predict the globe artichoke “*Spinoso sardo*” phenological stages and apical bud differentiation. Our data suggest the effectiveness of the degree days model and its suitability for decision support.

In chapter 2 we studied the relationships between air temperature and stomatal conductance, transpiration and net photosynthesis by the application of sprinkler irrigation on open field. Our data suggest that sprinkler irrigation is able to reduce canopy temperature and increase instant transpiration at noon. Globe artichoke “*Spinoso sardo*” grown under sprinkler irrigation showed a reduced incidence of head atrophy.

In chapter 3 we studied the relationships between GA3 application and air temperature observed in contrasting environments. Globe artichoke plants under a combined effect of GA3 application under high temperature showed 100% of atrophic heads or were not able to produce commercial heads.

## Capitolo I

### *Atrofia del capolino: messa a punto di un modello per la previsione dell'insorgenza*

#### 1.1 Introduzione

L'apice vegetativo di carciofo si presenta come un tipico cono vegetativo (Cutter, 1971), formato da una "tunica", e costituito da una serie di strati di cellule (8-9), ed un "corpus" meno omogeneo in cui sono riconoscibili tre zone (Morone Fortunato *et al.*, 1981):

- Una costituita da cellule madri o iniziali del corpus, localizzate sotto le iniziali della tunica;
- Un'altra chiamata *rib-meristema* costituita da cellule ordinate in file e caratterizzate da divisioni cellulari che seguono l'asse perpendicolare all'asse dell'apice;
- La terza detta *flank-meristema* costituita da cellule che inviluppano il rib-meristema e contribuisce allo sviluppo delle cellule dei primordi delle foglie e del procambio.

L'apice in questa prima fase appare come una piccola cupola concava costituita da cellule meristematiche indifferenziate. Durante la prima fase della differenziazione a fiore, vi è un incremento dell'attività mitotica delle cellule madri, caratterizzata da cellule più piccole e ricche di protoplasma. L'apice costituito da una zona midollare parenchimatosa è circondato da numerose cellule meristematiche che vanno a formare un multistrato, che in seguito si riduce fino a evidenziare una struttura mantello-cuore. In questo secondo stadio sulla parte periferica della superficie dell'apice iniziano ad apparire i primordi fiorali; lo sviluppo avviene in modo centripeto, fino ad interessare l'intero talamo con la corrispondente formazione del capolino. La successione delle fasi appena descritte è importante per cogliere il momento esatto in cui insorge l'atrofia. La durata della fase di differenziazione corrisponde con quel periodo che intercorre tra l'inizio dell'incremento dell'attività mitotica nella zona centrale delle cellule madri fino al raggiungimento della struttura mantello-cuore, che nella varietà Spinoso sardo, è stata evidenziata tra il 65° e il 75° giorno dal risveglio, distinguendosi dalle altre varietà dove la differenziazione va dai 65 giorni del Violetto di Provenza ai 126 giorni del Macau, partendo dalla stessa tipologia di materiale di propagazione (Morone Fortunato I. *et al.*, 1981). La durata della fase di transizione è risultata essere circa 1/3 della fase vegetativa che la precede.

L'influenza esercitata da alcuni fattori climatici sull'accrescimento delle piante e sulla durata del ciclo colturale è stato argomento affrontato da diversi autori. La Malfa e Foury (1970-71), hanno condotto alcune prove sperimentali su due varietà a produzione autunnale il "Violetto di

Sicilia” e il “Violetto di Provenza”, per studiare se e in quale misura, le condizioni ambientali, in rapporto all’epoca di trapianto degli organi di moltiplicazione, potevano esercitare una qualche influenza sia sull’accrescimento delle piante sia sulla durata del ciclo e di conseguenza sull’epoca di raccolta dei capolini. A tale scopo nel periodo compreso tra febbraio e giugno, sono state realizzate alcune indagini fenologiche, impiegando due tipologie di carducci ed epoche di trapianto scalari.

I risultati hanno dimostrato che i fattori climatici che hanno caratterizzato il periodo estivo, seppur in regime irriguo, hanno ostacolato sia l’attività vegetativa che la differenziazione dei capolini. Infatti, il ritmo di differenziazione delle foglie nelle piante più giovani, è risultato più lento e le lamine apicali sono risultate caratterizzate da una minore superficie. Il tempo medio per la differenziazione del primo capolino, espresso in numero di giorni dal trapianto, è aumentato considerevolmente.

Foti e La Malfa tra il 1974 e il 1978, hanno condotto prove triennali allo scopo di valutare l’influenza dei fattori termici, luminosi e chimici sull’emissione del capolino. Le ricerche, hanno avuto l’obiettivo di studiare gli effetti esercitati dai trattamenti termici e dall’acido gibberellico, e furono condotte su “Violetto di Sicilia”, e “Violetto di Provenza”, mentre gli effetti relativi alla riduzione dell’illuminazione giornaliera, sono stati condotti su “Violetto di Sicilia”.

L’analisi dei risultati relativa alle singole prove ha dimostrato che temperatura, gibberelline e fotoperiodo hanno influenzato direttamente l’attività vegetativa espressa dal numero di foglie ed, attraverso questa, anche l’epoca di differenziazione dei capolini. La *certezza* che la causa dell’atrofia del capolino possa essere attribuita alle alte temperature che si verificano durante la transizione dell’apice caulinare dalla fase vegetativa alla fase riproduttiva, che nelle carciofaie risvegliate anticipatamente, avviene circa 60 giorni dopo la prima irrigazione, è stata verificata dagli studi di Dallacecca e Damiani, 1976 e Morone Fortunato *et al.*, 1981.

In questo stadio se le temperature massime superano i 25-26 °C, si ha la manifestazione del fenomeno, che inizia nell’apice vegetativo, con la formazione di aree necrotiche per la morte delle cellule. Queste macchie necrotiche allargandosi possono interessare quasi tutto l’apice impedendo la formazione e lo sviluppo dei bocci fiorali.

Da tempo la temperatura è stata riconosciuta come parametro fondamentale in grado di influenzare il tasso di sviluppo delle piante. Per la maggior parte delle colture in pieno campo, un modello semplice basato solo sulla temperatura, è in grado di spiegare oltre il 95% della variabilità osservata nello sviluppo fenologico (Morrison *et al.*, 1989). A partire dal XIX secolo Boussegault e Fritsch, hanno avviato diverse ricerche sulla relazione tra temperatura e stadi del ciclo biologico di specie diverse, negli stessi anni Edwards e Colin, Sachs, Coutagne, hanno confermato l’importanza

delle temperature cardinali minime e massime nella crescita delle piante.

L'obiettivo del lavoro è stato quello della validazione ed implementazione del modello di somma termica per la previsione della durata delle fenofasi, attraverso l'impiego di un secondo data set indipendente. La messa a punto di un modello predittivo semplificato consente, in funzione della data di risveglio della coltura, la previsione del periodo in cui la coltura si troverà nella fase di induzione del capolino principale, informazione utile per testare l'applicazione di tecniche in grado di limitare l'insorgenza dell'atrofia del capolino.

## 1.2. Materiali e Metodi

Con lo scopo di ottenere informazioni utili per la previsione dell'insorgenza dell'atrofia del capolino, la validazione e l'implementazione ha riguardato il modello di somma termica relativo al carciofo Spinoso sardo messo a punto da Muroli S. (Muroli S. 2007) e basato sull'impiego di un data set di osservazioni fenologiche e termopluviometriche acquisito nell'annata 2005-2006. Al fine di individuare le relazioni esistenti fra periodicità degli stadi di sviluppo ed i parametri meteorologici monitorati, le prove sperimentali sono state condotte nel 2005-2006 contemporaneamente in tre siti:

- Ottava (SS) - Azienda Sperimentale del Dipartimento di Scienze Agronomiche e Genetica Vegetale Agraria, Università degli Studi di Sassari (Figura 1.1).
- Platamona (SS) - Azienda agricola privata a conduzione ordinaria (Figura 1.2).
- Santa Lucia (OR) - Azienda Sperimentale del Dipartimento di Scienze Agronomiche e Genetica Vegetale Agraria, Università degli Studi di Sassari (Figura 1.3).

Le tre località, essendo alla stessa latitudine, presentano identiche condizioni di regime fotoperiodico.



**Figura 1.1** Sito di Ottava (SS)



**Figura 1.2** Sito di Platamona (SS)



**Figura 1.2** Sito di S. Lucia (OR)

**Tabella 1.1 - "Spinoso sardo": medie, deviazioni standard e coefficienti di variabilità (c.v.) della durata in giorni e delle relative somme termiche, calcolate con T° base calcolata per la fenofase risveglio-comparsa 1° capolino secondario e applicata a tutti gli intervalli considerati (Muroni S., 2007)**

Intervallo	Durata (gg)			Somme termiche			
	Media	dev. st.	c.v.	Media	dev. st.	c.v.	T° base
Risveglio-5 <sup>a</sup> foglia	30,7	8,1	26,4	524,2	132,3	25,2	10,0
Risveglio-10 <sup>a</sup> foglia	48,5	8,5	17,5	772,2	143,5	18,6	10,0
Risveglio-15 <sup>a</sup> foglia	62,4	10,4	16,7	947,3	152,2	16,1	10,0
Risveglio-20 <sup>a</sup> foglia	75,1	11,4	15,2	1077,5	143,1	13,3	10,0
Risveglio-25 <sup>a</sup> foglia	86,5	12,3	14,3	1175,4	136,9	11,6	10,0
Risveglio-30 <sup>a</sup> foglia	96,4	14,4	14,9	1255,8	133,5	10,6	10,0
Risveglio-35 <sup>a</sup> foglia	107,7	15,2	14,1	1353,0	129,9	9,6	10,0
Risveglio-40 <sup>a</sup> foglia	111	12,1	10,9	1388,6	114,9	8,3	10,0
Risveglio-comparsa capolino I ordine	130,9	27,5	21,0	1461,0	84,5	5,8	10,0
Risveglio-comparsa 1° capolino II ordine	150,7	40,5	26,8	1562,3	97,0	6,2	10,0

Nella tabella 1.1, in accordo con Muroli S.(2007) sono riportate per i diversi intervalli e fenofasi presi in considerazione, le medie, la deviazione standard e i coefficienti di variabilità della durata in giorni e delle somme termiche calcolate con la temperatura base del ciclo completo. E' possibile osservare come le somme termiche siano in grado, rispetto alla durata media in giorni, di ridurre la variabilità della durata degli intervalli considerati, avendo coefficienti di variabilità inferiori. Dall'esame delle somme termiche si evince che le prime fasi sono caratterizzate da una richiesta termica inferiore e, con l'avanzare del ciclo, vi sia un lineare incremento della somma termica.

Il modello di somma termica messo a punto da Muroli S. (2007) è stato validato e successivamente implementato attraverso l'impiego di un data set indipendente riguardante osservazioni fenologiche e termopluviometriche, disponibile presso il Dipartimento di Agraria, Sezione di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Genetica.

Il secondo data set utilizzato nel lavoro è stato acquisito nel 2000-2001 nell'ambito di una prova condotta presso l'azienda sperimentale di Ottava dell'Università degli Studi di Sassari, su terreni mediamente profondi, tendenzialmente argillosi ma caratterizzati da un elevato contenuto di calcare ( $\text{CaCO}_3$  totale maggiore del 40%). Gli ovoli trapiantati in campo secondo un sesto di 1,3m tra le file e 0,70 m sulla fila sono stati risvegliati il 15 luglio 2000, attraverso l'irrigazione per aspersione. La concimazione è stata effettuata tenendo conto del livello di sufficienza di azoto fosforo e potassio nel terreno, e delle asportazioni, pertanto è stata effettuata una concimazione di fondo con 180 kg/ha di fosfato biammonico e 100 kg/ha di urea in copertura dopo il primo intervento di scarducciatura, i concimi fogliari a base di microelementi e chelati di ferro sono stati distribuiti in due interventi successivi.

Il monitoraggio fenologico della coltura è stato avviato a partire dalla seconda settimana dal risveglio, mentre a partire dal 18 agosto 2000, ed alle date del 23 e 28 agosto, 2, 7, 13, 17, 22, 28 settembre, 13 e 17 ottobre sono stati casualmente campionati gli apici vegetativi da destinare alla valutazione istologica.

Il campionamento è stato eseguito prelevando nove apici per rilievo. La fase di preparazione dei vetrini è stata svolta in laboratorio seguendo il seguente schema operativo:

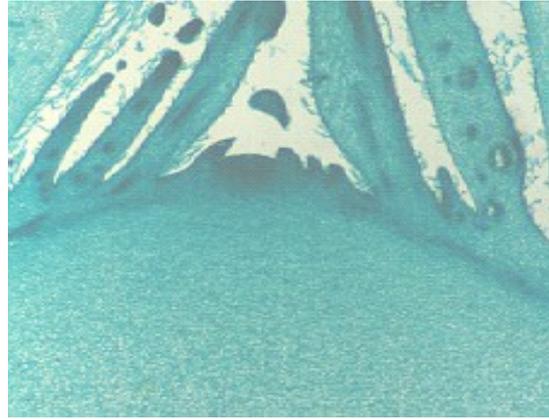
- a) disidratazione dei tessuti, diafanizzazione e inclusione in paraffina;
- b) taglio delle inclusioni di paraffina con microtomo e stesura delle fette su vetrini;
- c) colorazione delle sezioni con safranina e fast green, chiusura dei vetrini;
- d) analisi dei vetrini al microscopio.

Gli apici meristematici osservati (figura 1.4) sono stati suddivisi in:

1. Indifferenziati;
2. In fase di transizione;
3. In fase di differenziazione;
4. Differenziati;
5. Completati.



**Capolino in fase vegetativa**



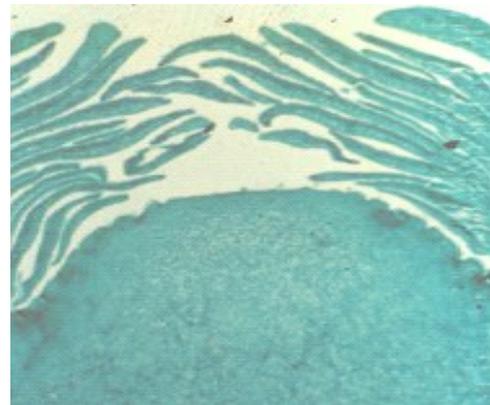
**Capolino in fase di transizione**



**Capolino in fase di differenziazione**

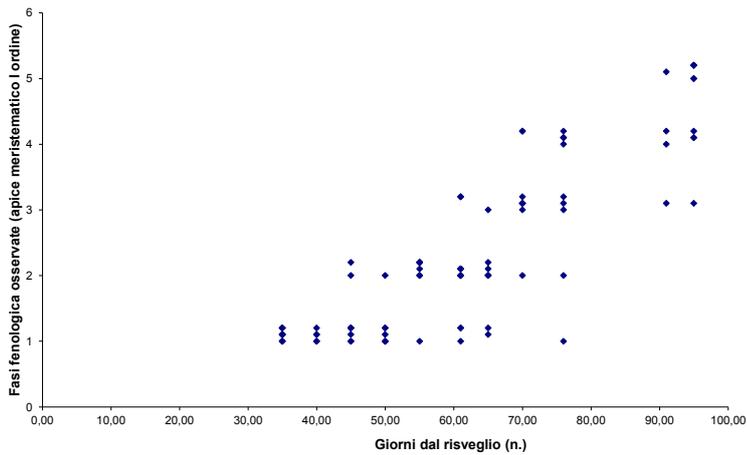


**Capolino differenziato normale**



**Capolino differenziato atrofico**

**Figura 1.4 Apici in differenti fasi di sviluppo: vegetativo, transizione, differenziazione.**



**Figura 1.5 Distribuzione nel tempo delle fasi fenologiche osservate**

In figura 1.5 è riportata la distribuzione nel tempo delle fasi relative all'apice meristemato osservate nel corso dell'annata 2000-01. Il data set disponibile ha confermato come la differenziazione nelle piante di Spinoso sardo abbia interessato il periodo compreso tra il 65° ed il 75° giorno dopo il risveglio.

Con lo scopo di procedere alla validazione del modello messo a punto da Muroni nel 2007, è stata calcolata la somma termica relativa a tutte le fenofasi osservate nell'annata 2000-01 utilizzando il modello di somma termica sviluppato da Muroni.

### 1.3. Risultati

Nella figura 1.6 è riportato il confronto fra i valori di somma termica stimati da Muroni nel 2006 e le somme termiche calcolate applicando il modello per le tutte le fenofasi osservate nell'annata 2000-01.

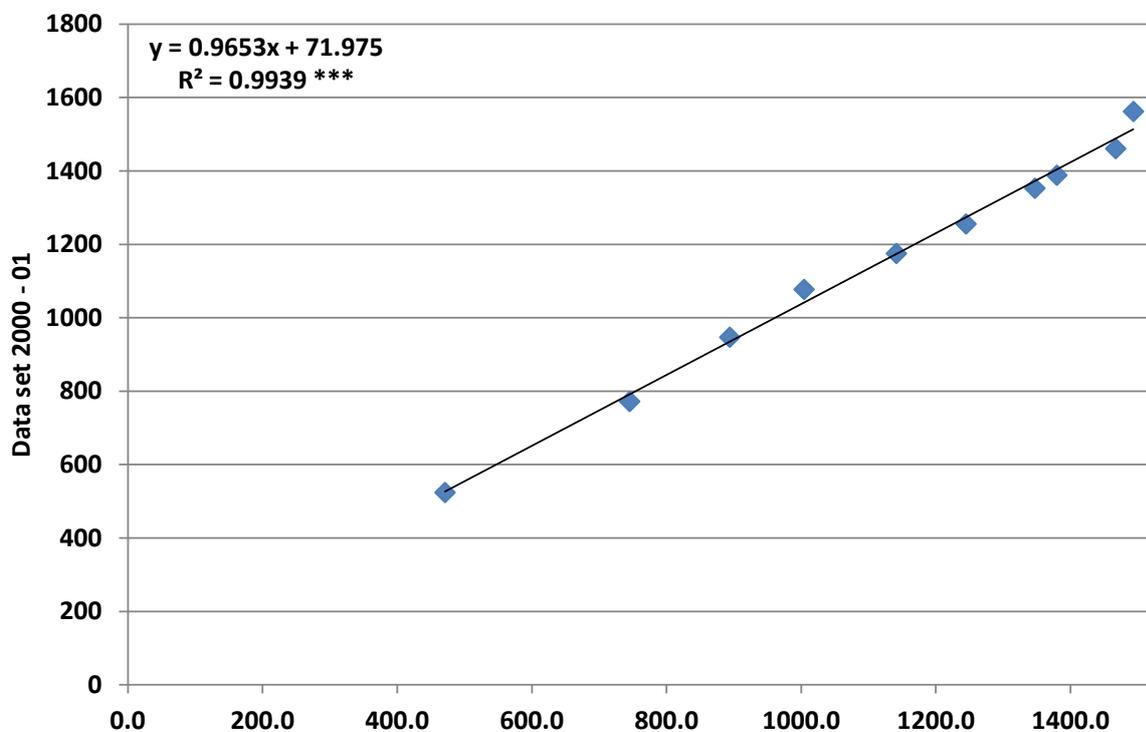


Figura 1.6 Validazione del modello di somma termica

Nella tabella 1.2 è riportato il modello di somma termica messo a punto da Muroni nel 2007 e implementato con l'inserimento dei valori di somma termica relativi alle fasi di differenziazione dell'apice meristematico di I ordine.

**Tabella 1.2 - "Spinoso sardo": medie, deviazioni standard e coefficienti di variabilità (c.v.) della durata in giorni e delle relative somme termiche, calcolate con T° base di 10 °C per la fenofase risveglio-comparsa 1° capolino di II ordine e applicata a tutte le fenofasi del ciclo;**

Fenofase	Durata (gg)			Somme termiche		
	Media	dev. st.	c.v.	Media	dev. st.	c.v.
<b>Risveglio-5<sup>a</sup> foglia</b>	30,7	8,1	26,4	524,2	132,3	25,2
<b>Risveglio-10<sup>a</sup> foglia</b>	48,5	8,5	17,5	772,2	143,5	18,6
<b>Risveglio - transizione apice I ordine</b>	59,2	7,4	12,4	855,9	73,0	8,5
<b>Risveglio-15<sup>a</sup> foglia</b>	62,4	10,4	16,7	947,3	152,2	16,1
<b>Risveglio - differenziazione capolino I ordine</b>	73,2	10,1	13,8	992,5	108,2	10,9
<b>Risveglio-20<sup>a</sup> foglia</b>	75,1	11,4	15,2	1077,5	143,1	13,3
<b>Risveglio - capolino I ordine differenziato</b>	82,8	10,5	12,6	1096,9	120,9	11,0
<b>Risveglio-25<sup>a</sup> foglia</b>	86,5	12,3	14,3	1175,4	136,9	11,6
<b>Risveglio - capolino I ordine completamente formato</b>	94,3	1,6	1,7	1231,0	19,2	1,5
<b>Risveglio-30<sup>a</sup> foglia</b>	96,4	14,4	14,9	1255,8	133,5	10,6
<b>Risveglio-35<sup>a</sup> foglia</b>	107,7	15,2	14,1	1353,0	129,9	9,6
<b>Risveglio-40<sup>a</sup> foglia</b>	111,0	12,1	10,9	1388,6	114,9	8,3
<b>Risveglio-comparsa capolino I ordine</b>	130,9	27,5	21,0	1461,0	84,5	5,8
<b>Risveglio-comparsa 1° capolino II ordine</b>	150,7	40,5	26,8	1562,3	97,0	6,2

## 1.4. Discussione

Nella messa a punto del modello di somma termica condotto da Muroli nel 2007 la contemporanea conduzione delle prove sperimentali in tre siti caratterizzati da differente altimetria e quindi da un diverso andamento climatico, ha consentito di monitorare una più ampia variabilità fenologica, principalmente in funzione dell'effetto delle temperature. L'impiego predittivo del parametro somma termica si è rivelato efficiente, anche in considerazione dei corrispondenti valori dei coefficienti di variabilità, risultati sempre inferiori rispetto a quelli calcolati per la durata in giorni delle fenofasi (Cross e Zuber, 1972; Major *et al.*, 1975; Lombardo e Tuttobene, 1987).

La temperatura base calcolata per la fenofase più ampia, che in carciofo corrisponde al periodo compreso tra il risveglio degli ovoli e la comparsa del primo capolino secondario, è risultata per lo Spinoso sardo pari a 10 °C. La somma termica calcolata considerando la temperatura base individuata per la fenofase più ampia (quindi non specifica per i singoli intervalli) ha mostrato una buona affidabilità in termini predittivi, soprattutto rispetto alle durate delle singole sottofasi espresse in giorni. In relazione alla elevata significatività della regressione fra le somme termiche individuate dal modello calibrato sul data set 2005-06 quelle calcolate attraverso la sua applicazione su un data set indipendente acquisito nel 2000-01 emerge che per ciascuna fenofase è pertanto possibile utilizzare un unico modello predittivo, calibrato per la fenofase più ampia.

## 1.5. Conclusioni

L'implementazione del modello di somma termica attraverso l'inserimento delle fenofasi relative alla differenziazione dell'apice di I ordine consente la precisa identificazione del periodo ottimale per l'adozione di eventuali trattamenti irrigui con funzione climatizzante.

Inoltre, attraverso il modello implementato sarà possibile il suo impiego a supporto della previsione del danno da atrofia, consentendo l'analisi degli andamenti termometrici concomitanti la fase di induzione dell'apice di I ordine. In relazione alle serie storiche specifiche per sito, sarà possibile l'impiego del modello di somma termica a supporto dell'identificazione della data ottimale di risveglio della carciofaia, al fine di sfuggire al periodo sensibile di differenziazione per il manifestarsi di temperature superiori alle soglie di criticità individuate con conseguente manifestazione del fenomeno e del danno ad esso associato.

## 1.6 Bibliografia

- Cross H.Z., Zuber M.S., 1972. Prediction of flowering dates maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*, 64, 351-355.
- Cutter G. E. 1971 *Plant anatomy: experiment and interpretation (part. 2)*. Edwards Arnolds
- Dellacecca V., Damiani L., 1976. Contributo alla conoscenza delle varietà di carciofo coltivate nel mondo. *Nuovi studi sul Carciofo Minerva medica*, pagg. 489-406.
- Foti S. , La Malfa G., 1981 Influenza dei fattori termici luminosi e chimici sulla emissione del capolino in *Cynara scolimus L.* Atti del 3° Congresso Internazionale sul carciofo, Bari, 207-218.
- La Malfa, G., Foury, C., 1971. Aspects de la multiplication végétative de l'artichaut dans le bassin occidental de la Méditerranée. *Pépiniéristes Horticulteurs Maraichers*, 114, 1929.
- Lombardo G. M., Tuttobene R., 1987. Relazioni tra somme termiche, fenofasi ed accrescimento in frumento (*Triticum spp.*). *Rivista di Agronomia*, 21, 4 suppl., 337-344.
- Major D.J., Johnson D.R., Luedders V.d., 1975. Evaluation of eleven thermal unith methods for predicting soybean development. *Crop Science* 15, 172-174.
- Morone Fortunato I Magnifico V., Dellacecca V., 1981 Aspetti agronomici ed istologici dell'atrofia del capolino di carciofo (*Cynara scolimus L.*). Atti 3° congresso internazionale sul carciofo, Bari, 265-282.
- Morrison M.J., Mc Vetty P.B.E., Shaykewich C.F., 1989. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of west summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 69, 455-464.
- Muroni S., 2007 Studio dell'influenza dei fattori meteorologici sulla fenologia delle principali specie orticole da pieno campo e messa a punto dei modelli semplificati per la previsione della durata del ciclo colturale. Tesi di dottorato in Agrometeorologia dei

Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari, XIX°Ciclo, Università degli Studi di Sassari.

## Capitolo II

### *Studio dell'effetto delle temperature sulla differenziazione della gemma apicale*

#### **2.1 Introduzione**

Il Carciofo ha bisogno di particolari condizioni ambientali per avviare i processi di produzione di sostanze ad azione florigena, trasporto dei fotoassimilati e dei metaboliti, stimolo dell'apice vegetativo, differenziazione isto-morfologica, che si concludono con la formazione dei capolini (Foti e La Malfa, 1981).

Attualmente la tecnica di coltivazione è fortemente influenzata dalle esigenze di mercato, che premia commercialmente produzioni sempre più anticipate, e stimola la generalizzata adozione fra i tecnici del settore, della tecnica della forzatura nelle varietà rifioventi.

L'effetto di alcune condizioni di coltivazione, può causare sulle piante situazioni di stress, stress idrico (Adams e El-Gizqwy, 1986), stress osmotico (Adams e Ho, 1992), e stress causato da elevati o bassi valori di temperatura (Ho *et al.*, 1993). Condizioni che rendono la pianta suscettibile ad alcune fisiopatie, come nel caso del marciume apicale nel pomodoro. La risposta di adattamento del frutto alle condizioni di crescita, cioè i meccanismi che spiegano la suscettibilità al marciume apicale del pomodoro sono legati in particolare alla temperatura. Sbalzi termici giornalieri determinano una maggiore domanda di Ca per i frutti in rapido accrescimento che va a superare lo stesso apporto radicale creando uno scompenso (Ho *et al.*, 1995). Lo sviluppo dei tessuti xilematici nei frutti più distali ha un profondo effetto sul trasporto del calcio all'interno dei frutti ed è la base anatomica della suscettibilità al marciume apicale (Belda e Ho, 1993). Nel carciofo non si osservano importanti variazioni del contenuto di calcio nei tessuti del capolino (Graifenberg 1995), è possibile però che la mancanza di questo microelemento come avviene per altre colture, sia dovuta a qualche effetto considerato secondario come lo stato di stress idrico (Bangerth, 1979).

La condizione di resistenza termica delle piante, sviluppata nel microclima su cui vegetano, dipende dall'abilità delle stesse di ovviare agli eccessi di caldo attraverso il *leaf cooling*.

Le fisiopatie delle piante dipendono da fattori meteorologici che caratterizzano un ambiente e con i quali gli organismi si trovano permanentemente o temporaneamente in contatto.

Il risveglio anticipato della carciofaia accentua la precocità di emissione dei capolini, ma la espone a una maggiore predisposizione per la fisiopatia chiamata "atrofia del capolino" (Morone Fortunato *et al.*, 1979a; 1979b), che assume un'elevata incidenza anche in funzione dei diversi andamenti termici, infatti è tanto maggiore quanto più anticipati sono gli impianti; questa

alterazione interessa i capolini primari e secondari di cv rifioenti.

Il capolino appena differenziato arresta bruscamente lo sviluppo, le brattee imbruniscono ed il peduncolo rimane piuttosto corto. Le brattee più esterne disseccano parzialmente, soprattutto agli apici, e tendono ad incurvarsi all'interno, mentre quelle più interne al ricettacolo vengono bloccate nello sviluppo. Il capolino, privato della normale embricatura delle brattee resta relativamente vuoto all'interno (capolini monaci) e di ridotte dimensioni.

I primi approfondimenti scientifici sull'atrofia del capolino, osservata sulle cultivar precoci, Spinoso Sardo e Locale di Mola furono condotti da Morone *et al.*, nel 1979. Da questi primi studi è emerso che, l'atrofia del capolino può essere attribuita alle elevate temperature e conseguentemente basse umidità relative riscontrabili nel periodo estivo-autunnale, che provocano elevata traspirazione della pianta nella delicata fase di differenziazione dei capolini, con turbe fisiologiche che si manifestano visibilmente con la malformazione dei capolini. Il ruolo delle alte temperature responsabili della malformazione del capolino è stato osservato in altre fisiopatie, come il cuore nero del sedano, l'imbrunimento interno della lattuga a cappuccio, il marciume apicale del pomodoro e del peperone. In queste piante come nel carciofo è stata evidenziata anche la cattiva mobilità di calcio e di boro, nei tessuti in rapido accrescimento, in concomitanza di diversi fattori quali la forte intensità luminosa e l'elevata traspirazione, che crea disomogeneità del potenziale idrico nelle diverse parti della pianta (Magnifico, 1984).

Mauro *et al.* (2008) hanno condotto uno studio sulle varietà Spinoso di Palermo, Thema 2000 e Violetto di Provenza e hanno valutato l'effetto climatizzante dell'irrigazione nebulizzata quale mezzo per limitare l'insorgenza della fisiopatia. I risultati ottenuti, limitati ad un ciclo colturale e in accordo con i precedenti lavori hanno avvalorato in modo parziale i risultati attesi e hanno confermato che l'irrigazione nebulizzata limita l'atrofia del capolino.

Boari *et al.* (2012) hanno condotto uno studio sulla varietà Violetto di Provenza e hanno valutato l'effetto di differenti regimi idrici e differenti concentrazioni saline dell'acqua sulla resa. Dai risultati ottenuti è emerso che il livello di salinità del terreno all'inizio del ciclo di coltivazione ha favorito l'incidenza dell'atrofia dei capolini primari prodotti nel secondo anno.

Allo stato attuale la maggior parte degli studi condotti su questa problematica sono concordi nell'evidenziare come causa principale dell'atrofia del capolino le alte temperature (massima superiore a 25 °C e media giornaliera superiore a 19-20 °C) che si verificano durante la fase di differenziazione dell'apice da vegetativo a riproduttivo.

L'obiettivo del lavoro è stato quello di studiare l'effetto delle temperature e dello stato idrico e fisiologico delle piante sui meccanismi d'insorgenza dell'atrofia del capolino sulla cultivar rifiorente Spinoso sardo coltivata con la tecnica della forzatura.

## 2.2 Materiali e Metodi

### 2.2.1 Siti sperimentali

Due prove di campo, con un comune protocollo sperimentale, sono state condotte nel corso del biennio 2010 - 2012 in due siti, Ottava (81 m s.l.m., lat. 40° 46' N e long. di 8° 29' E) presso il campo didattico sperimentale 'Mauro Deidda' dell'Università di Sassari e Cabras (3 m s.l.m., lat. 39° 57' N e long. di 8° 33' E) presso un'azienda privata a conduzione ordinaria.

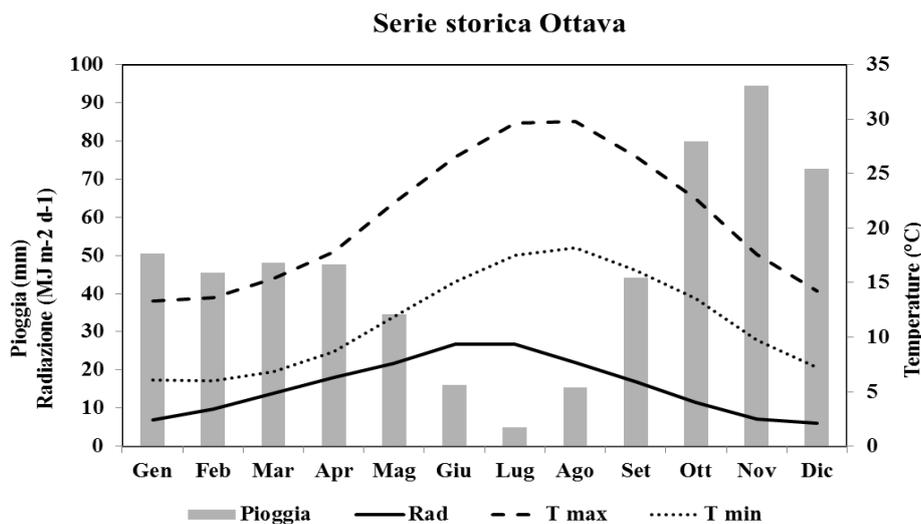
I siti sperimentali differiscono tra loro per caratteristiche geografiche, lito-pedologiche, termopluviometriche e per la destinazione d'uso del suolo.

Il sito di Ottava è caratterizzato da terreni mediamente profondi originati da calcare miocenico a tessitura sabbio-limo-argillosa, tendenzialmente argillosi, ma caratterizzati da un elevato contenuto di calcare ( $\text{CaCO}_3$  totale > 40%), discretamente dotati di elementi nutritivi e con capacità di ritenzione idrica del 30% sul peso secco (tabella 2.1). I terreni più comuni della zona sono classificati, secondo il WRB (1998), come Eutric Cambisols, Leptic Cambisols, Eutric Leptosols, Vertic Cambisols. L'uso del suolo più comune sono cereali, colture foraggere e macchia mediterranea.

**Tabella 2.1** Analisi del suolo nei siti di prova (metodica Spurway)

Parametri	Unità di misura	Ottava	Cabras
pH	–	8,2	8,15
Conducibilità elettrica a 25 °C	mS cm <sup>-1</sup>	0,21	0,22
Azoto (NO <sub>3</sub> )	mg l <sup>-1</sup>	6,17	8,9
Fosforo (P)	mg l <sup>-1</sup>	0,21	0,54
Potassio (K)	mg l <sup>-1</sup>	6,4	19,95
Calcio (Ca)	mg l <sup>-1</sup>	433,83	352,1
Magnesio (Mg)	mg l <sup>-1</sup>	17,17	22,48
Sodio (Na)	mg l <sup>-1</sup>	18,5	19,2
Zolfo (S)	mg l <sup>-1</sup>	5,47	4,35

Il clima del sito di prova è semi-arido mediterraneo con precipitazioni medie annue, rilevate nell'ultimo quarantennio, pari a 535 mm e concentrate prevalentemente nei mesi di ottobre, novembre e dicembre (figura 2.1). Le precipitazioni durante il periodo estivo (da giugno ad agosto) non superano i 30 mm, con un minimo in corrispondenza del mese di luglio. Il regime termico è caratterizzato da temperature medie mensili comprese fra 9,5 °C del mese di gennaio e i 23,7 °C del mese di agosto, corrispondenti rispettivamente al mese più freddo ed a quello più caldo. I valori di temperatura minima inferiore allo 0 °C non sono molto frequenti, tanto che la media delle minime del mese di gennaio si aggira intorno ai 6 °C.

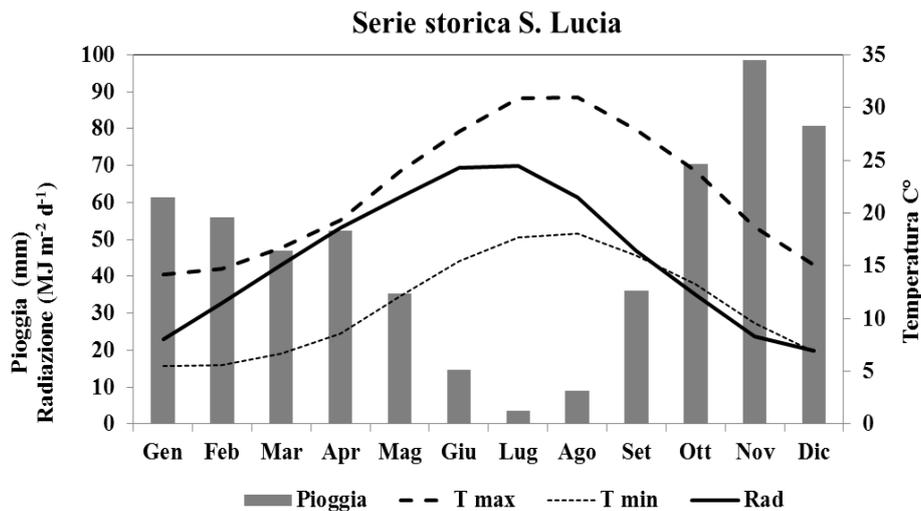


**Figura 2.1** Radiazione solare mensile (—), temperatura massima (- - -) e minima (.....) e precipitazione (barre) relative al sito di Ottava secondo la serie storica a partire dal 1958

Il sito di Cabras è caratterizzato da suoli con profilo A, BE, C in alluvioni antiche (Pleistocene del Campidano-Tirso), profondi oltre i 100-120 cm e con accumuli di argille illuviali a partire da 40-50 cm (orizzonte BE argillico). Sono suoli insaturi con problemi di drenaggio sia superficiale che interno e falde relativamente superficiali (120-150 cm) (tabella 2.1). I suoli dominanti sono classificati come Haplic Luvisols, Gleyic Luvisols, Haplic Acrisols, Haplic Calcisols, Petric Calcisols, Haplic Nitisols, Haplic Gleysols, Haplic Cambisols (WRB, 1998). L'uso del suolo più comune sono terre arabili, colture permanenti, pascoli.

Il clima del sito di prova è caratterizzato da precipitazioni medie annue, rilevate nell'ultimo quarantennio, pari a 581 mm e concentrate prevalentemente nei mesi di novembre, dicembre e febbraio (figura 2.2). Le precipitazioni durante il periodo estivo (da giugno ad agosto) non superano i 19 mm, con un minimo in corrispondenza del mese di luglio. Il regime termico è caratterizzato da

temperature medie mensili comprese tra i 9,9 °C di gennaio e i 24,1 °C di agosto, corrispondenti rispettivamente al mese più freddo ed a quello più caldo.



**Figura 2.2** Radiazione solare mensile (—), temperatura massima (- - -) e minima (.....) e precipitazione (barre) relative al sito di Santa Lucia secondo la serie storica a partire dal 1958

### 2.2.2 Materiale vegetale

La ricerca è stata condotta sulla cultivar precoce “Spinoso Sardo”, (raccolta generalmente tra novembre e aprile). La scelta della cultivar è stata fatta prendendo in considerazione l’elevata sensibilità all’atrofia del capolino in coltura forzata e in presenza di alte temperature durante la fase di differenziazione del capolino.

Nell’ambito della problematica riguardante la scelta del materiale di moltiplicazione, sono state confrontate due tipologie di ovoli per testare l’insorgenza dell’atrofia rispetto ad una diversa durata dell’intervallo intercorrente tra la fase di risveglio e la delicata fase di differenziazione del capolino :

- Ovoidi, caratterizzati da internodi corti, forma rotondeggiante e un elevato numero di gemme laterali che inibiscono la dominanza apicale;
- Sigaroidi, caratterizzati da lunghi internodi che conferiscono all’ovulo forma allungata, la gemma apicale è più sviluppata a discapito delle gemme laterali, (talvolta assenti), caratteristica che rende i sigaroidi più precoci rispetto agli ovoidi (Dellacecca, 1967; La Malfa, 1967).

### 2.2.3 Disegno sperimentale e trattamenti

La ricerca è stata impostata secondo un disegno sperimentale a blocco randomizzato ripetuto nello spazio, e con il materiale vegetale (ovoidi e sigaroidi) come fonte di variazione. Lo schema sperimentale adottato è stato ripetuto in due aree adiacenti, ciascuna con superficie di circa 1000 m<sup>2</sup>, sottoposte a trattamento irriguo differenziato: un'area con irrigazione a microportata ed un'area con irrigazione climatizzante realizzata tramite l'aspersione. La disponibilità di entrambi gli impianti d'irrigazione sulle parcelle climatizzate ha consentito la loro gestione mediante l'irrigazione localizzata durante le fasi del ciclo in cui non è stata prevista la climatizzazione, al fine di garantire una maggiore uniformità tra le parcelle a confronto. L'impianto d'irrigazione per aspersione, costituito da microirrigatori con portata di circa 90 litri ora<sup>-1</sup> e disposti in quadrato alla distanza di 5 metri, è stato progettato al fine di garantire la massima omogeneità nella distribuzione dell'acqua irrigua. Gli interventi irrigui hanno consentito il mantenimento costante del livello di umidità del suolo, prossimo alla capacità di campo in tutte le parcelle.

### 2.2.4 Gestione agronomica della prova

La preparazione del terreno per l'impianto della coltura è avvenuta mediante l'aratura. Le lavorazioni complementari hanno variato fra siti secondo le caratteristiche granulometriche del terreno. La messa a dimora degli ovoli in pieno campo è avvenuta il 20 luglio, in entrambi i siti e per entrambi gli anni della durata della prova.

Il sesto d'impianto adottato è stato di 0,7 m sulla fila x 1,2 m tra le file, al fine di facilitare le lavorazioni meccaniche durante il ciclo colturale. La concimazione è stata effettuata in accordo con una conduzione ordinaria della carciofaia (tabella 2.2).

**Tabella 2.2** Piano di concimazione

Fertilizzante	Titolo (N-P-K)	Quantità distribuita(q/ha)	Momento di distribuzione
Urea	46-0-0	1	Pre-impianto
Solfato di potassio	0-0-50	8	Pre-impianto
Fosfato ammonico	18-46-0	7	Pre-impianto
Fertirrigazione	42-21-51	4	Sarchiatura x 3

Le operazioni riguardanti la difesa dai fitofagi e dalle più comuni patologie della coltura del carciofo, sono state condotte secondo conduzione ordinaria. Nello specifico la gestione fitosanitaria

della prova (nelle due annate e nei due siti), non ha evidenziato particolari situazioni di rischio ed i trattamenti sono stati eseguiti a scopo preventivo.

I risultati ottenuti dal lavoro 1 hanno consentito di identificare il periodo ottimale per l'avvio dell'irrigazione climatizzante in corrispondenza del 48° giorno (emissione 10° foglia ) dalla data di impianto. La scelta di azionare l'impianto di irrigazione a partire dal 48°giorno in una fase precedente al momento di induzione della gemma apicale è stata fatta in relazione alla elevata eterogeneità che caratterizza la carciofaia. L'impianto d'irrigazione è stato provvisto di un timer per il funzionamento automatico nelle ore programmate e il turno d'adacquamento. L'irrigazione climatizzante è stata impostata a partire dal 48° giorno durante la fascia oraria compresa fra le 11:00 e le 17:00, ad intervalli di 15 minuti. Il trattamento irriguo è stato sospeso al 105° giorno dall'impianto.

### *2.2 5 Rilievi*

All'interno delle due aree a trattamento irriguo differenziato, sono state individuate due aree di saggio, ciascuna di 50 m<sup>2</sup> (42 piante) all'interno delle quali sono stati effettuati rilievi di tipo fisiologico e rilievi biometrici. I rilievi fisiologici sono stati eseguiti a cadenza bisettimanale dall'avvio dell'irrigazione per aspersione su un campione di 15 piante per area di saggio mediante l'impiego del CIRAS-2 (PP Systems International, Inc, analizzatore a scambio gassoso ad infrarossi Palma: Li-Cor 6400, Li-Cor Inc). Per una maggiore uniformità nel monitoraggio delle piante, la scelta della dimensione del campione è stata influenzata dalla necessità di eseguire i rilievi nel range di massima intensità solare. Sono stati monitorati i principali indicatori dello stato fisiologico delle piante: fotosintesi netta (PN), traspirazione fogliare (TrF), apertura stomatica (CD) e temperatura fogliare (TF).

I rilievi biometrici sono stati effettuati a cadenza decadale su un campione di 30 piante per area di saggio durante il periodo di raccolta (novembre-marzo). È stato determinato il peso fresco e la lunghezza dei capolini commerciabili e dei peduncoli. Durante il periodo di raccolta sono stati osservati il numero di capolini primari e secondari atrofici espressi come percentuale sul totale delle piante presenti.

I dati meteorologici disponibili in formato giornaliero (temperatura massima e minima, precipitazione, evapotraspirazione potenziale e radiazione globale solare) utili per la caratterizzazione climatica delle aree di studio, sono stati registrati presso le aziende sperimentali di Ottava (Sassari) e Santa Lucia (Oristano) da due stazioni agrometeorologiche dell'Agenzia della Regione Sardegna per la Protezione Ambientale (ARPAS).

Prima dell'impianto delle carciofaie, si è proceduto al prelievo di campioni di suolo a due differenti profondità (0-15 cm e 15-30 cm) successivamente sottoposti ad analisi chimico-fisica (metodo Spurway) condotte presso il laboratorio della Sezione di Agronomia e Genetica Vegetale del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Sassari (tabella 2.1).

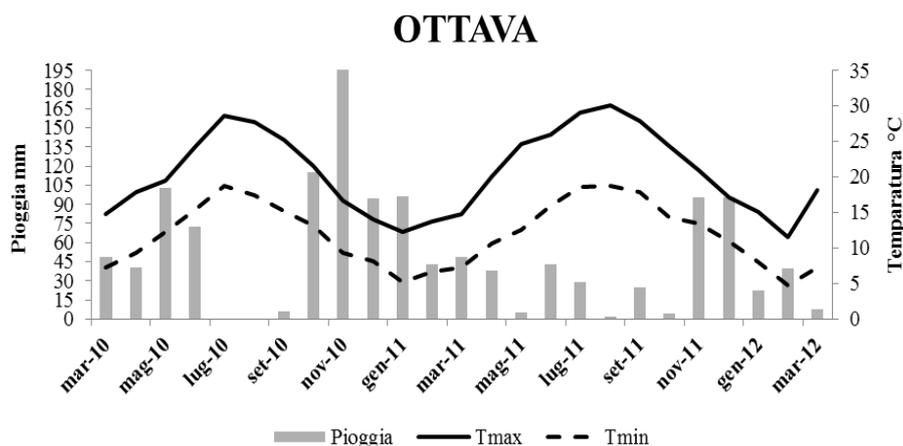
### *2.2.6 Analisi statistica*

Le analisi statistiche sono state condotte secondo uno schema a blocchi randomizzati ripetuti nel tempo e nello spazio, dove i trattamenti irrigui sono stati assimilati alla ripetizione nel tempo, mentre la ripetizione nello spazio è stata condotta presso due siti sperimentali. È stata testata l'omogeneità della varianza e tutti i dati raccolti e gli indici calcolati sono stati elaborati utilizzando la procedura GLM del software statistico SAS (SAS Software, 1999). La discriminazione tra medie è stata condotta mediante utilizzo del test LSD protetto (Gomez and Gomez, 1976).

## **2.3 Risultati**

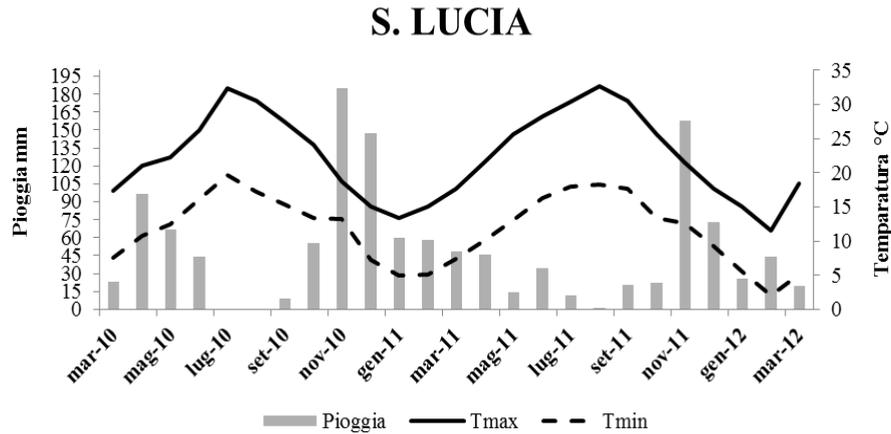
### *2.3.1 Andamento meteorologico*

Nella figura 2.3 è riportato l'andamento termopluviometrico relativo ai due anni di sperimentazione nel sito di Ottava. Il trend meteorologico della stagione estiva 2010 è risultato in linea con la serie storica. Il periodo autunnale è stato caratterizzato da abbondanti precipitazioni. Nel mese di ottobre sono stati registrati valori cumulati superiori a 100 mm e a novembre le precipitazioni sono risultate tra le più elevate degli ultimi 5 anni, sia in valore che in frequenza. L'andamento pluviometrico caratterizzato da precipitazioni superiori alla media è proseguito sino a tutto il mese di dicembre. Nell'annata 2011-2012, il mese di luglio è stato caratterizzato da precipitazioni superiori alla media (29 mm), successivamente vi è stata una fase di tempo stabile con temperature massime quasi sempre superiori alla media della serie storica. Il mese di ottobre è stato caratterizzato dalla scarsa presenza di precipitazioni, i valori cumulati sono stati di soli 4,6 mm, mentre nel mese di novembre i valori cumulati sono stati pari a 195 mm. Dal punto di vista termico, l'inverno è stato particolarmente mite; le medie delle temperature minime dei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo hanno variato tra 0,8 e 11 °C e non sono mai scese al di sotto degli 0 °C.



**Figura 2.3** Trend termoplviometrico nel sito di Ottava.

Nella figura 2.4 è riportato l'andamento termoplviometrico relativo ai due anni di sperimentazione nel sito di Cabras (Stazione meteorologica di Santa Lucia). L'andamento termoplviometrico della stagione colturale 2010-11 è in linea con la media della serie storica. Dal mese di maggio si è verificato un notevole incremento delle temperature, soprattutto nella prima e ultima decade, associato a periodi di forte siccità; precipitazioni a carattere temporalesco e forti venti si sono verificati tra la fine del mese di maggio e l'ultima decade di giugno. La media delle temperature massime ha raggiunto valori intorno ai 33 °C nei mesi di luglio e agosto in entrambe le annate, in linea rispetto alla serie storica dove i seguenti mesi risultano essere quelli più caldi. L'autunno, da ottobre fino a metà dicembre, è stato caratterizzato da precipitazioni particolarmente frequenti e abbondanti (200 mm sopra le medie poliennali), associate a temperature superiori alla media (> di 4-7 °C). Andamento simile si è verificato durante il 2012. L'inverno è trascorso particolarmente mite; la media delle temperature minime dei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo ha variato tra 7, 2 e 5 °C e non sono mai scese al di sotto degli 0 °C.



**Figura 2.4** Trend termopluviometrico nel sito di S. Lucia

### 2.3.2 Rilievi fisiologici, biometrici atrofia I anno

In tabella 2.3 sono riportati i valori medi relativi ai rilievi fisiologici condotti durante il periodo di monitoraggio nei due siti nel corso del primo anno di prova. L'interazione irrigazione x tipo è risultata altamente significativa per le variabili osservate conduttanza stomatica ed attività fotosintetica. I valori più elevati sono stati osservati sulle piante originate da ovoidi sottoposte al trattamento irriguo per aspersione. Una significativa interazione sito x tipo è stata osservata relativamente ai parametri traspirazione e temperatura fogliare. Il valore più elevato di traspirazione fogliare è stato rilevato sulle piante sottoposte al trattamento irriguo per aspersione ed originate da ovoidi. Per quanto riguarda la temperatura fogliare, il valore più elevato è stato osservato anche in questo caso sulle piante originate da ovoidi ma nel trattamento irrigato a goccia. Le interazioni irrigazione x sito, sito x tipo e sito x irrigazione x tipo sono risultate altamente significative per il parametro di conduttanza stomatica. Nell'ambito dell'interazione sito x irrigazione x tipo, i valori più elevati di conduttanza stomatica sono stati osservati nel sito di Cabras, sulla tesi irrigata per aspersione e sulle piante originate da ovoidi.

Prendendo in esame gli effetti principali, differenze statisticamente significative sono state registrate relativamente al sito infatti, nel sito di Ottava sono stati osservati i valori più bassi di conduttanza stomatica e traspirazione fogliare. Il trattamento irriguo è risultato altamente significativo per tutte le variabili considerate. Sulle piante irrigate a goccia sono stati osservati i valori più bassi di conduttanza stomatica, traspirazione fogliare e attività fotosintetica, mentre le piante irrigate per aspersione hanno mostrato i valori più bassi di temperatura fogliare. Considerando l'effetto principale relativo alla tipologia di ovolo, sono state osservate differenze statisticamente significative per le variabili di conduttanza stomatica e traspirazione fogliare e valori più bassi sono stati registrati sulle piante originate da sigaroidi.

**Tabella 2.3** Parametri fisiologici rilevati nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2010\_2011): valori medi osservati durante il periodo monitorato

		Conduttanza stomatica mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s				Traspirazione fogliare mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>				Temperatura fogliare °C				Attività fotosintetica mmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>			
		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava	
A x B x C		Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc
	<b>Ovoidi</b>	590.0A	273.0Ba	550.0a	271.0B	4.0	3.5	4.0	3.0	22.0	26.0	22.0	24.6	5.5	3.7	5.8	4.2
	<b>Sigaroidi</b>	582.0AA	158.0Bb	271.0Bb	188.0	3.8	2.7	3.3	2.2	23.0	25.0	23.1	23.6	3.8	4.3	3.9	4.5
<b>A x B</b>	<b>Aspersione</b>	Cabras		Ottava													
		586.0		410.5													
	<b>Goccia</b>	215.5		229.5													
<b>A x C</b>	<b>Ovoidi</b>	Cabras		Ottava													
		432.0		411.0													
	<b>Sigaroidi</b>	370.0		230.0													
<b>B x C</b>	<b>Ovoidi</b>	Aspersione		Goccia		Aspersione		Goccia		Aspersione		Goccia		Aspersione		Goccia	
		570.0		272.0		4.0		3.3		22.0		25.6		5.7		4.0	
	<b>Sigaroidi</b>	426.5		173.0		3.6		2.5		23.1		24.3		3.9		4.4	
<b>Media Tipo</b>	<b>Ovoidi</b>			421.0				3.6								4.8	
	<b>Sigaroidi</b>			299.8				3.0								4.1	
<b>Media Sito</b>	<b>Cabras</b>			400.8				3.5								4.3	
	<b>Ottava</b>			320.0				3.1								4.6	
<b>Media Irrigazione</b>	<b>Aspersione</b>			498.3				3.8				23.0				4.8	
	<b>Goccia</b>			222.5				2.9				25.0				4.2	
<b>Fonte</b>	<b>Sito (A)</b>			***				**				n.s.				**	
	<b>Irrigazione (B)</b>			***				***				**				***	
	<b>Tipo (C)</b>			***				***				n.s.				***	
	<b>A x B</b>			***				n.s.				n.s.				n.s.	
	<b>A x C</b>			***				n.s.				n.s.				n.s.	
	<b>B x C</b>			***				*				*				***	
	<b>A x B x C</b>			***				n.s.				n.s.				n.s.	

n.s. Non significativo; \* Significativo per  $P < 0.05$ ; \*\* Significativo per  $P < 0.01$  \*\*\* Significativo per  $P < 0.001$ ;

medie seguite da lettere diverse con carattere **grassetto** differiscono per  $p \leq 0.05$  nell'ambito del confronto fra due valori medi per la fonte A, confrontati allo stesso livello della fonte B e C.

medie seguite da lettere diverse con carattere normale differiscono per  $p \leq 0.05$  nell'ambito del confronto fra due valori medi per la fonte B, confrontati allo stesso livello della fonte A e C.

medie seguite da lettere diverse con carattere *corsivo* differiscono per  $p \leq 0.05$  nell'ambito del confronto fra due valori medi per la fonte C, confrontati allo stesso livello della fonte A e B.

In tabella 2.4 è riportata l'analisi statistica dei parametri biometrici medi registrati nei due siti. I valori di lunghezza dei capolini hanno mostrato significativa interazione sito x irrigazione. I valori più elevati sono stati osservati nel sito di Cabras nelle piante irrigate a goccia. Per il diametro dei capolini l'interazione sito x irrigazione è risultata significativa. I diametri maggiori sono stati osservati nel sito di Ottava nelle piante irrigate a goccia. Una debole interazione sito x tipo è stata osservata per la variabile lunghezza dei capolini ed i valori più elevati sono stati registrati nel sito di Cabras e nelle piante originate da ovoidi. Considerando gli effetti principali relativi ai parametri biometrici, differenze altamente significative sono state osservate per tutte le variabili considerate relativamente alle fonti di variazione sito e irrigazione. Nel sito di Ottava, i valori più elevati sono stati osservati per il diametro e per il peso dei capolini, mentre nel sito di Cabras è stato registrato un maggior peso dei peduncoli e lunghezza dei capolini. Nelle piante irrigate a goccia sono stati osservati i valori maggiori di peso dei peduncoli e di diametro e peso dei capolini.

Per quanto riguarda il materiale vegetale utilizzato differenze statisticamente significative sono state osservate nella lunghezza dei capolini ed i valori più elevati sono stati osservati nelle piante originate da sigaroidi.

**Tabella 2.4** Parametri biometrici dei capolini raccolti nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2010\_2011) valori medi osservati durante il periodo monitorato

		Lunghezza capolini cm				Diametro capolini cm				Peso capolini g				Peso peduncoli g			
		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava	
A x B x C		Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc
	<b>Ovoidi</b>	11.5	12.1	10.0	9.7	5.6	6.4	6.8	7.0	139.3	147.5	139.9	147.8	36.2	39.3	30.3	33.9
	<b>Sigaroidi</b>	11.7	12.3	10.0	9.7	5.7	6.5	6.8	7.0	138.5	145.7	139.9	147.6	35.9	39.0	30.2	33.8
<b>A x B</b>	<b>Aspersione</b>	Cabras		Ottava		Cabras		Ottava									
	<b>Goccia</b>	11.6		10.0		5.6		6.8									
		12.2		9.7		6.5		7.0									
<b>A x C</b>	<b>Ovoidi</b>	Cabras		Ottava													
	<b>Sigaroidi</b>	11.8		9.9													
		12.0		9.9													
<b>Media Tipo</b>	<b>Ovoidi</b>			10.8													
	<b>Sigaroidi</b>			10.9													
<b>Media Sito</b>	<b>Cabras</b>			11.9				6.0 b				142.8				37.6	
	<b>Ottava</b>			9.9				6.9 a				149.7				32.1	
<b>Media Irrigazione</b>	<b>Aspersione</b>			11.0				6.21 b				141.2				33.2	
	<b>Goccia</b>			10.9				6.73 a				151.2				37.0	
<b>Fonte</b>	<b>Sito (A)</b>			***				***				***				***	
	<b>Irrigazione (B)</b>			**				***				***				***	
	<b>Tipo (C)</b>			*				n.s.				n.s.				n.s.	
	<b>A x B</b>			***				**				n.s.				n.s.	
	<b>A x C</b>			*				n.s.				n.s.				n.s.	
	<b>B x C</b>			n.s.				n.s.				n.s.				n.s.	
	<b>A x B x C</b>			n.s.				n.s.				n.s.				n.s.	

n.s. Non significativo; \* Significativo per  $P < 0.05$ ; \*\* Significativo per  $P < 0.01$  \*\*\* Significativo per  $P < 0.001$ ;

In tabella 2.5 è riportata l'analisi statistica condotta sui valori percentuali dell'incidenza dei capolini atrofici espressa come percentuale dei capolini totali raccolti, osservati nei due siti. Per tale parametro è stata osservata una interazione altamente significativa sito x tipo. La percentuale più elevata di capolini atrofici è stata osservata nel sito di Cabras e nelle piante originate da ovoidi. Analizzando gli effetti principali, differenze altamente significative sono state registrate per tutte le fonti di variazione considerate. La minore incidenza di capolini atrofici è stata osservata nelle piante irrigate per aspersione. Considerando l'effetto sito, i valori più elevati sono stati registrati a Cabras, mentre nell'ambito del materiale vegetale, la maggiore percentuale di atrofia è stata osservata nelle piante originate da ovoidi.

**Tabella 2.5** Percentuale di capolini atrofici di I e II ordine sul totale dei capolini raccolti nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2010\_2011)

		<b>Atrofia</b>			
		<b>%</b>			
		<b>Cabras</b>		<b>Ottava</b>	
<b>A x B x C</b>		<b>Asp</b>	<b>Goc</b>	<b>Asp</b>	<b>Goc</b>
	<b>Ovoidi</b>	2.8	6.7	1.7	5.9
	<b>Sigaroidi</b>	2.0	5.9	2.3	6.5
<b>A x C</b>		<b>Cabras</b>		<b>Ottava</b>	
	<b>Ovoidi</b>	4.8		3.8	
	<b>Sigaroidi</b>	4.0		4.4	
<b>Media Tipo</b>	<b>Ovoidi</b>	4.3			
	<b>Sigaroidi</b>	4.2			
<b>Media Sito</b>	<b>Cabras</b>	4.4			
	<b>Ottava</b>	4.1			
<b>Media Irrigazione</b>	<b>Aspersione</b>	2.2			
	<b>Goccia</b>	6.3			
<b>Fonte</b>					
	<b>Sito (A)</b>	***			
	<b>Irrigazione (B)</b>	***			
	<b>Tipo (C)</b>	**			
	<b>A x B</b>	n.s.			
	<b>A x C</b>	***			
	<b>B x C</b>	n.s.			
	<b>A x B x C</b>	n.s.			

n.s. Non significativo; \* Significativo per  $P < 0.05$ ; \*\* Significativo per  $P < 0.01$  \*\*\* Significativo per  $P < 0.001$ ;

### *2.3.3 Rilievi fisiologici, biometrici atrofia II anno*

Nella tabella 2.6 è riportata l'analisi statistica condotta sui parametri fisiologici medi osservati nei due siti durante il secondo anno di prova. I valori di conduttanza stomatica e temperatura fogliare hanno mostrato un'interazione sito x irrigazione altamente significativa. Nel sito di Cabras il valore di conduttanza stomatica è risultato più elevato nelle piante irrigate per aspersione. Inoltre a Cabras sono stati osservati, nelle piante irrigate a goccia, i valori più elevati di temperatura fogliare. Differenze statisticamente significative sono state osservate nel confronto tra siti, per i parametri conduttanza stomatica, e traspirazione fogliare. Inoltre, i valori più bassi sono stati osservati nel sito di Ottava. Per quanto riguarda i trattamenti irrigui a confronto, differenze altamente significative sono state osservate per tutti i parametri fisiologici rilevati. Sulle piante irrigate a goccia sono stati osservati i valori più bassi di conduttanza stomatica, traspirazione fogliare e attività fotosintetica, mentre il trattamento per aspersione ha mostrato i valori più bassi di temperatura fogliare.

**Tabella 2.6** Parametri fisiologici rilevati nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2011\_2012) valori medi osservati durante il periodo monitorato

		Conduttanza stomatica mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s				Traspirazione fogliare mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>				Temperatura fogliare °C				Attività fotosintetica mmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>			
		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava	
A x B x C		Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc
	<b>Ovoidi</b>	583.5	260.5	519.7	264.0	4.0	3.3	3,8	2,7	22.0	26.1	22.7	25.2	5.2	3,7	4.4	3.9
	<b>Sigaroidi</b>	583.5	260.5	524.3	264.0	4.0	3.5	3,3	2,7	21.6	26.5	22.3	25.2	5.2	3.5	5.0	4.1
A x B		Cabras		Ottava						Cabras		Ottava					
	<b>Aspersione</b>	583.5		522.0						21.8		22.5					
	<b>Goccia</b>	260.5		264.0						26.3		25.2					
Media Sito		Cabras		Ottava													
	<b>Cabras</b>	422.0				3,7											
	<b>Ottava</b>	393.0				3,1											
Media Irrigazione		Aspersione		Goccia													
	<b>Aspersione</b>	552.8				3,8				22.1				5.0			
	<b>Goccia</b>	262.3				3.0				25.7				3.8			
Fonte																	
	<b>Sito (A)</b>	***				***				n.s.				n.s.			
	<b>Irrigazione (B)</b>	***				***				***				**			
	<b>Tipo (C)</b>	n.s.				n.s.				n.s.				n.s.			
	<b>A x B</b>	***				n.s.				**				n.s.			
	<b>A x C</b>	n.s.				n.s.				n.s.				n.s.			
	<b>B x C</b>	n.s.				n.s.				n.s.				n.s.			
	<b>A x B x C</b>	n.s.				n.s.				n.s.				n.s.			

n.s. Non significativo; \* Significativo per P < 0.05; \*\* Significativo per P < 0.01 \*\*\* Significativo per P < 0.001;

L'analisi statistica relativa ai parametri biometrici medi rilevati al secondo anno, è riportata in tabella 2.7. E' stata osservata interazione significativa sito x irrigazione per i parametri lunghezza e peso dei capolini. I valori maggiori di lunghezza dei capolini sono stati osservati nel sito di Cabras e nelle piante irrigate a goccia, mentre il peso dei capolini è risultato più elevato nelle piante allevate nel sito di Ottava e irrigate a goccia. Relativamente agli effetti principali, differenze altamente significative sono emerse dal confronto tra siti per le variabili, lunghezza dei capolini, peso dei capolini e dei peduncoli. I valori più elevati sono stati osservati nel sito di Cabras, relativamente alla lunghezza dei capolini e peso dei peduncoli, mentre nel sito di Ottava sono stati registrati i valori più elevati di peso dei capolini. Nei trattamenti irrigui a confronto differenze statisticamente significative sono state osservate per il peso dei capolini e dei peduncoli, mostrando i valori più elevati nelle piante irrigate a goccia.

**Tabella 2.7** Parametri biometrici rilevati nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2011\_2012) valori medi osservati durante il periodo monitorato

		Lunghezza capolini cm				Diametro capolini cm				Peso capolini g				Peso peduncoli g			
		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava		Cabras		Ottava	
A x B x C		Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc	Asp	Goc
	<b>Ovoidi</b>	11.9	12.3	10.2	9.6	6.0	6.6	6.8	6.6	135.7	145.1	139.9	147.8	32.5	34.5	29.1	33.0
	<b>Sigaroidi</b>	11.9	12.5	10.6	9.6	6.4	6.6	6.4	7.0	135.7	145.1	139.9	147.6	32.5	32.0	29.0	32.8
A x B	Aspersione	Cabras		Ottava						Cabras		Ottava					
		11.9		10.4						135.7		139.9					
	<b>Goccia</b>	12.4		9.6						145.1		147.7					
Media Sito	Cabras			12.2						140.4				32.9			
	Ottava			10.0						143.8				31.0			
Media Irrigazione	Aspersione									137.8				30.8			
	Goccia									146.4				33,1			
Fonte																	
	<b>Sito (A)</b>			***								***		*			
	<b>Irrigazione (B)</b>			n.s.								***		*			
	<b>Tipo (C)</b>			n.s.								n.s.		n.s.			
	<b>A x B</b>			*								*		n.s.			
	<b>A x C</b>			n.s.								n.s.		n.s.			
	<b>B x C</b>			n.s.								n.s.		n.s.			
	<b>A x B x C</b>			n.s.								n.s.		n.s.			

n.s. Non significativo; \* Significativo per  $P < 0.05$ ; \*\* Significativo per  $P < 0.01$  \*\*\* Significativo per  $P < 0.001$ ;

In tabella 2.8 è riportata l'analisi statistica condotta sulla percentuale di capolini atrofici calcolata sul totale dei capolini raccolti durante il secondo anno di prova. Differenze altamente significative sono state osservate nell'ambito del confronto fra sito e fra tesi irrigue. Le percentuali più alte di atrofia sono state registrate nelle piante irrigate a goccia (10.1 vs 7.0). Inoltre, nel sito di Cabras sono state registrate percentuali di capolini atrofici più elevate rispetto al sito di Ottava (9.6 vs 7.5). Nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata fra tipologie di materiale vegetale a confronto.

**Tabella 2.8** Percentuale di capolini atrofici di I e II ordine sul totale dei capolini raccolti nei siti di Cabras (OR) e Ottava (SS) (2011\_2012)

		<b>Atrofia</b>			
		%			
		<b>Cabras</b>		<b>Ottava</b>	
<b>A x B x C</b>		<b>Asp</b>	<b>Goc</b>	<b>Asp</b>	<b>Goc</b>
	<b>Ovoidi</b>	8.5	10.6	6.1	8.7
	<b>Sigaroidi</b>	7.7	11.6	5.7	9.3
<b>Media Sito</b>	<b>Cabras</b>	9.6 a			
	<b>Ottava</b>	7.5 b			
<b>Media Irrigazione</b>	<b>Aspersione</b>	7.0 b			
	<b>Goccia</b>	10.1 a			
<b>Fonte</b>					
	<b>Sito (A)</b>	**			
	<b>Irrigazione (B)</b>	***			
	<b>Tipo (C)</b>	n.s.			
	<b>A x B</b>	n.s.			
	<b>A x C</b>	n.s.			
	<b>B x C</b>	n.s.			
	<b>A x B x C</b>	n.s.			

n.s. Non significativo; \* Significativo per  $P < 0.05$ ; \*\* Significativo per  $P < 0.01$  \*\*\* Significativo per  $P < 0.001$ ;

## 2.4 Discussione

Dall'analisi dei dati relativi ai trend termopluviometrici registrati nelle due annate, emerge che, in entrambi i siti della prova e durante il periodo di differenziazione dei capolini, sono stati registrati valori di temperature massime superiori ai 25-26°C. Come riportato in bibliografia tali valori risultano critici durante questa fase in quanto è stata osservata una maggiore sensibilità della pianta all'insorgenza dell'atrofia del capolino (Magnifico 1984). La risposta delle piante allo stress da alta temperatura dipende da diversi fattori inclusi l'adattamento termico, tipico di alcune specie particolari, la durata dell'esposizione delle piante alle alte temperature, e l'attività e lo stadio di crescita (fase fenologica) dei tessuti esposti. Gli stress da caldo sono il maggiore fattore limitante lo sviluppo delle piante selvatiche e coltivate soprattutto quando sono in sinergia con la limitazione della disponibilità idrica.

Nel primo anno di prova sulle piante sottoposte al trattamento irriguo per aspersione, sono stati osservati elevati valori di conduttanza stomatica, traspirazione fogliare ed attività fotosintetica. Conduttanze stomatiche più elevate aumentano la diffusione della CO<sub>2</sub> nella foglia e favoriscono una più elevata attività fotosintetica, oltre all'elevata attività traspirativa. La traspirazione fogliare porta ad un abbassamento della temperatura delle foglie e della canopy in generale, mitigando l'innalzamento della stessa a causa della esposizione alla radiazione solare.

L'irrigazione climatizzante è stata quindi in grado di modificare lo stato termico delle piante, evidenziato da valori minori di temperatura fogliare.

Dall'analisi dei risultati dei parametri fisiologici si può quindi risalire allo stato idrico delle piante. Nel trattamento a goccia le piante hanno manifestato una condizione di stress idrico, come dimostrato da elevati valori di temperatura fogliare, bassi valori di conduttanza stomatica e minore traspirazione che hanno determinato uno scarso raffreddamento della superficie fogliare.

Il carciofo in coltura forzata nelle prime fasi del ciclo risente di uno stato di stress idrico istantaneo durante le ore più calde della giornata nonostante il terreno si trovi alla capacità di campo, in quanto le richieste evaporative dell'apparato fogliare non sono sostenute a causa dell'ancora limitato sviluppo dell'apparato radicale; le piante pertanto manifestano una riduzione del turgore dell'apparato fogliare.

Nella tesi irrigata a goccia le piante hanno risentito maggiormente dello stress idrico istantaneo rispetto al trattamento irriguo per aspersione in quanto l'effetto climatizzante ha determinato una riduzione del delta termico tra la temperatura fogliare istantanea e la temperatura ambiente.

Gli stessi risultati sono stati ottenuti nel secondo anno di prova in entrambi i siti a conferma del ruolo dell'irrigazione climatizzante quale mezzo capace di regolare le condizioni termiche e di conseguenza lo stato fisiologico della carciofaia.

Dall'analisi dei parametri biometrici si osserva in entrambe le annate di prova e in entrambi i siti come l'irrigazione climatizzante abbia determinato un maggiore accrescimento longitudinale dei capolini e una leggera riduzione del diametro, del peso del capolino e del peduncolo.

Anche se con bassi valori assoluti rispetto all'incidenza media osservata su base poliennale (Mameli *et al.*, 2000; Ledda *et al.*, 2003a e 2003b), l'intervento irriguo climatizzante, ha determinato una significativa riduzione dei capolini primari e secondari atrofici, espressa come percentuale di capolini atrofici calcolata sul totale dei capolini raccolti. L'influenza positiva dell'irrigazione climatizzante ha contribuito a ridurre l'incidenza di atrofia, abbassando la temperatura fogliare e riducendo lo stress idrico istantaneo osservato nelle ore più calde della giornata.

Nel sito di Cabras sono stati registrati valori medi di temperature massime (33 °C nei mesi di luglio e agosto in entrambe le annate) e percentuali di capolini atrofici più elevati, rispetto al sito di Ottava (30 °C durante i mesi di luglio e agosto in entrambe le annate).

Da un'attenta analisi della scarsa e datata bibliografia sugli studi condotti sulla problematica dell'atrofia del capolino è già chiaro il ruolo delle temperature nel determinare una maggiore incidenza della fisiopatologia.

I risultati ottenuti nel nostro studio non solo confermano quanto riportato in letteratura ma dimostrano che le elevate temperature associate a condizioni di stress idrico hanno un ruolo consistente nell'alterare il normale svolgimento della fase di differenziazione, con conseguente manifestazione di capolini primari e secondari atrofici.

## **2.5 Conclusioni**

L'impiego dell'irrigazione climatizzante può essere considerato un perfezionamento nella tecnica della gestione irrigua in quanto in grado di determinare anche un miglioramento delle condizioni microclimatiche della canopy.

L'irrigazione climatizzante si è rivelata un importante strumento per controllare gli effetti delle temperature e dello stress idrico, determinando una minore incidenza dell'atrofia con conseguente incremento della produzione areica di capolini normalmente formati e pertanto commerciabili.

## 2.6 Bibliografia

- Adams, P., El-Gizqwy, A.M., 1986. Effect of salinity and watering level on the calcium content of tomato fruit. *Acta Horticulturae* 190:253-259
- Adams, P., Ho, L.C., 1992. The susceptibility of modern tomato cultivar to blossom-end rot in relation to salinity. *Journal Horticultural Science and Biotechnology* 67:137-142
- Bangerth, F., 1979. Calcium related physiological disorders of plants. *Annual Review of . Phytopathology* 17:97-122
- Belda, R.M., Ho, L.C., 1993. Salinity effect on the network of vascular bundles during tomato fruit development. *Journal Horticultural Science and Biotechnology* 68:557-564
- Boari, F., Pace, B., Todorović, M., De Palma, E., Cantore, V., 2012. Effect of water regime and salinity on artichoke yield. *Italian Journal of Agronomy* volume 7:e9 58-63
- Dellacecca, V., Bianco, V.V., 1967. Valore agronomico delle gemme in relazione alla loro posizione sul rizoma del carciofo. *Atti del I Congresso Internazionale di studi sul Carciofo, Bari*, 21-25
- Foti, S., La Malfa, G. 1981. Influenza dei fattori termici luminosi e chimici sulla emissione del capolino in *Cynara scolimus* L. *Atti del 3° Congresso Internazionale sul carciofo, Bari*, 207-218.
- Gomez, K.A., Gomez, A.A., 1976. *Statistical procedures for agricultural research*. Wiley Interscience Publication, New York, 680 pp.
- Graifenberg, A., Giustiniani, L., Temperini, O., Lipucci Di Paola, O., 1995. Allocation of Na, Cl, K and Ca within plant tissues in globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) under saline-sodic conditions *Scientia Horticulturae* 63:1–10
- Ho, C., Belda, R., Andrews, J., Adams, P., 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *Journal of Experimental Botany* 44:509-518

- Ho, L.C., Adams, X.Z., Li, H., Shen, J., 1995. Responses of Ca-efficient and Ca-inefficient tomato cultivars to salinity in plant growth, calcium accumulation and blossom-end rot. *Journal of horticultural science and biotechnology* 70:909-918.
- La Malfa, G., 1967. Ricerche sulla differenziazione degli organi di moltiplicazione del carciofo (*Cynara scolymus* L.). Atti del I congresso internazionale di studi sul carciofo, Bari, 17-20
- Ledda, L., Mameli, M.G., Milia, M., Marras, G.F., 2003a. Influence of plant shading and ovoli typology on globe artichoke development, early production and head atrophy: preliminary results. Atti del V International Congress on Artichoke, Tudela (Spain), 5-8 maggio pag. 115
- Ledda L., Muroni S., Marras G.F., 2003b. Effetto dell'irrigazione climatizzante e della tipologia dell'ovolo sull'atrofia del capolino in carciofo "Spinoso sardo": risultati preliminari. Atti del XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia, Napoli 16-18 settembre 2003
- Magnifico V., 1984. La coltivazione del carciofo in Puglia. Atti del convegno La coltivazione del carciofo in Toscana. 19-24.
- Mameli, M., Ledda, L., Milia, M., Leoni, S., 2000. First acquisition of ovoli typology influence on artichoke development, production and flower abortion. Atti del IV International Congress on Artichoke, Bari 17-21 ottobre, pag. 38.
- Mauro, R., Di Nicola, M., Longo, A.M.G., Mauromicale, G., 2008. The effects of mist irrigation on biological and productive behaviour of globe artichoke. *Irrigation in Mediterranean Agriculture: challenges and innovation for the next decades. Options Méditerranéennes* 84: 41-46
- Morone Fortunato, I., Vanadia, S., Lattanzio, V., 1979a. Osservazioni sulla transizione a fiore dell'apice vegetativo di quattro varietà di *Cynara scolymus* L. Atti del III convegno internazionale di studi sul carciofo, Bari, 255-263
- Morone Fortunato, I., Magnifico, V., Dellacecca, V., 1979 b. Aspetti agronomici ed istologici della atrofia del capolino di carciofo *Cynara scolymus* L. Atti del III convegno internazionale di studi sul carciofo, Bari, 265-282

SAS Software, 1999. Version 9.02. Cary: SAS Institute, Inc.

## Capitolo III

### *Differenziazione della gemma apicale in carciofo: interazione tra temperature e applicazione di acido gibberellico*

#### 3.1. Introduzione

Nell'Europa meridionale, il carciofo [*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori] rappresenta una importante risorsa per l'economia agricola (Mauro *et al.*, 2009).

La specie è una pianta erbacea perenne, N-esigente, appartenente alla famiglia delle *Asteraceae*.

Negli ultimi anni si è assistito a un incremento della superficie coltivata in molte parti del mondo, soprattutto in Asia (Cina, 10.0 kha), Sud America (Perù, Cile e Argentina, con 4.2, 4.3, e 4.6 kha, rispettivamente) e Nord Africa (Egitto e Marocco, con 3.6 e 3.2 kha) (FAOSTAT, 2010), in relazione anche alla sua fama di alimento funzionale (Pandino *et al.*, 2010).

L'Italia è il principale produttore mondiale di carciofo (50.0 su 128.8 kha coltivato nel mondo e una produzione media annua di circa 474 kt), seguita da Spagna (20.0 kha e 215 kt) e Francia (10.3 kha e 55 kt) (FAOSTAT, 2010).

In Italia, la coltura è presente soprattutto nelle aree agricole irrigue delle regioni meridionali (Puglia, Sicilia, Sardegna) con la coltivazione di vecchi genotipi, propagati per via agamica (ad esempio 'Violetto di Sicilia', 'Spinoso sardo', 'Violet de Provence') che, nonostante le loro basse rese, sono in grado di garantire elevati riscontri economici, principalmente grazie alla loro marcata precocità e lungo ciclo produttivo (da ottobre-novembre ad aprile; Mauromicale *et al.*, 2004).

La cultivar Spinoso sardo, è comunemente coltivata nelle aree carcioficole della Sardegna.

Una problematica importante oggetto di studio, al fine di commercializzare questa varietà, è l'atrofia del capolino. Comunemente sono colpiti i capolini principali che appaiono di dimensioni ridotte e di forma anomala, con brattee non completamente sviluppate e dal margine superiore imbrunito. I capolini atrofici non presentano bocci fiorali sul talamo che appare totalmente o in parte necrotico.

Temperature massime giornaliere superiori ai 25-26 °C durante la fase di transizione dell'apice caulinare da vegetativo a riproduttivo, sono spesso associate alla manifestazione di

questa fisiopatia, con percentuale e gravità del danno proporzionali alla durata dell'esposizione alle elevate temperature. In specie che presentano fisiopatie simili (Barta e Tibbitts, 1986; Palzkill *et al.*, 1980; Palencia *et al.*, 2010) è stata evidenziata la rallentata mobilità del calcio (Ca) e del boro (B) nei tessuti in rapido accrescimento. Si è, dunque, pensato che anche in carciofo, la mancata o lenta traslocazione di Ca e di Bo, fosse una concausa dell'atrofia del capolino, ipotesi, però, non del tutto accertata.

La vernalizzazione svolge un ruolo chiave nell'induzione a fiore della pianta (Rangarajan *et al.*, 2010).

Le cultivar precoci come lo Spinoso Sardo richiedono un periodo corto di vernalizzazione, processo attraverso il quale la pianta attraversa la fase vegetativa per passare alla riproduttiva, una vernalizzazione corta anticipa notevolmente il periodo di raccolta (primi di settembre).

L'acido gibberellico (GA) è il regolatore di crescita più comunemente usato per indurre la fioritura in specie che richiedono giorni lunghi e / o freddi coltivate in condizioni non-induttive, comprese specie a rosetta longigiurne come *Arabidopsis* (Zeevaart, 2006) e specie ornamentali e orticole (Chen *et al.*, 2003; Kozłowska *et al.*, 2007; Henny *et al.*, 2000). L'acido gibberellico può indurre l'allungamento dello stelo, e interagire con altri ormoni coinvolti nella crescita e sviluppo delle piante (Ross e O'Neill, 2001). Nel carciofo GA può influenzare lo sviluppo e la produzione dei capolini con conseguente anticipo nella raccolta; incrementare numero e pezzatura dei capolini di 4° e 5° e 6° ordine; determinare un allungamento del gambo e delle foglie dei capolini, influire sulla vernalizzazione anticipando la fine del fabbisogno in freddo (Garcia *et al.*, 1998; Kocer e Eser, 1999; Garcia *et al.*, 1999).

Tuttavia, diversi fattori possono influire sull'azione di GA, ad esempio cultivar, epoca, dosaggio e metodo di applicazione (Mauromicale e Ierna, 2000; Goreta *et al.*, 2004; Eldin *et al.*, 2007).

Nello studio condotto da Kocer *et al.* (2005) sulla cultivar Sakiz, è stato osservato che il periodo di differenziazione dell'apice vegetativo, nelle piante risvegliate precocemente tramite l'irrigazione e somministrazioni di GA3, è più corto. Allo stesso tempo è stato osservato che le alte temperature durante la fase di transizione dell'apice da vegetativo a riproduttivo possono causare la formazione di capolini atrofici.

Obiettivo principale di questo studio è stato quello di acquisire nuove informazioni sui processi di induzione e sviluppo del capolino primario in carciofo Spinoso sardo. Prima che

nelle piante avvenisse la transizione da fase vegetativa a fase riproduttiva, sono stati analizzati gli effetti combinati delle temperature e dell'applicazione di GA3 sulla successiva fioritura.

Obiettivo specifico è stato quello di studiare l'effetto dell'interazione tra alte temperature e applicazione di acido gibberellico sull'emissione del capolino primario e di conseguenza sulla comparsa e incidenza dell'atrofia.

### **3.2. Materiali e Metodi**

Al fine di mettere in relazione l'effetto delle alte temperature e la somministrazione di acido gibberellico sull'incidenza della comparsa dell'atrofia è stata condotta una prova sulla cultivar 'Spinoso sardo' nel corso dell'annata agraria 2011 - 2012 presso l'azienda didattica sperimentale 'Mauro Deidda' dell'Università di Sassari (Lat. 40° 46' N e long. 8° 29' E, 87 m s.l.m.).

I trattamenti sono stati disposti secondo uno schema sperimentale con due fattori fattoriali completamente randomizzati. I vasi sono stati disposti in numero di 30 all'interno della serra, i restanti 30 all'esterno della struttura di protezione e la suddivisione dei vasi dentro e fuori la serra ha perseguito lo scopo di studiare l'interazione fra alte temperature e l'impiego dell'acido gibberellico. I dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) mediante utilizzo della procedura General Linear Model del software SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute Inc., 1996). La discriminazione tra medie è stata condotta attraverso l'utilizzo del test LSD ( $p < 0,05$ ). I valori percentuali, prima dell'ANOVA, sono stati trasformati con la funzione arcsen.

Il materiale vegetale utilizzato è stato prelevato da un'azienda carcioficola a conduzione ordinaria sita nel comune di Cabras (Lat. 39° 55' N e long. 8° 31' E) a 3 m s.l.m. Gli ovoli sono stati sterilizzati 8' con una soluzione allo 0,5% di cloro attivo, 4' con etanolo al 70% e con 3 risciacqui in acqua sterile.

Sono stati utilizzati 60 vasi del diametro di 45 cm (60 L) riempiti con una miscela di torba (1.5 % N organico totale, pH 6.5), substrato calcareo-argilloso e sabbia nel rapporto in peso 1:1:0.5.

L'impianto degli ovoli (uno per vaso) è avvenuto nel corso della prima decade di agosto. Gli ovoli sono stati disposti orizzontalmente a 2 cm di profondità.

Le piante sono state irrigate quotidianamente con 300 ml di acqua per vaso.

La fertilizzazione all'impianto ha previsto la distribuzione di 1.6 g vaso<sup>-1</sup> di un concime 46 N (Urea, Agrisardegna Spa, Porto Torres, IT), 1.3 g vaso<sup>-1</sup> di un concime 50 K<sub>2</sub>O (Solfato di potassio, Agrisardegna Spa, Porto Torres, IT), e 1.1 g vaso<sup>-1</sup> di un concime 18-46 NP (Fosfato bioammonico, SIRIAC S.r.l., Ragusa, IT). Successivamente in copertura sono stati distribuiti 0.5 g vaso<sup>-1</sup>, frazionati in tre interventi, di un concime 25-15 NP (Entec, EuroChem Agro Spa, Cesano Maderno, IT).

I trattamenti con acido gibberellico sono stati applicati quando le piante si trovavano nella fase di 5-6 foglie pienamente espanse (a circa 30 giorni dall'impianto). I trattamenti sono stati effettuati la sera (17.8 °C, 50 % RH, in assenza di vento e/o correnti d'aria). Prima della distribuzione della soluzione ormonica ogni vaso è stato in parte coperto, in prossimità del bordo superiore, con del film plastico per evitare l'evaporazione e ogni effetto di bordo.

Nel primo trattamento (T1) dieci piante di ogni ambiente (interno ed esterno struttura protetta) sono state trattate con 0.5 mg L<sup>-1</sup> di GA3 (ProGibb 40 SG, Siapo, purezza 40%), frazionato in due interventi da 0.25 mg L<sup>-1</sup> ciascuno, effettuati a 20 giorni di distanza l'uno dall'altro (Tabella 3.1).

Nel secondo trattamento (T2), dieci piante per ambiente sono state trattate con 0.5 mg L<sup>-1</sup> di GA3 in un unico intervento a 50 giorni dalla data di impianto.

Le 20 piante restanti (10 per ambiente) hanno costituito il controllo (C) e sono state trattate con sola acqua distillata.

**Tabella 3.1 Somministrazione di GA3 (ProGibb 40 SG, Siapo, purezza 40%)**

Trattamento	Piante trattate (n)	Somministrazioni (n)	Quantità distribuita (mg L <sup>-1</sup> )	Periodo somministrazione (DAP)*
T1	10 + 10	2	0.25 x 2	30 giorni 50 giorni
T2	10 + 10	1	0.50	50 giorni
C	10 + 10	0	0.00	30 giorni 50 giorni

\*DAP giorni dall'impianto (Days After Planting)

La gestione fitosanitaria delle prove non ha evidenziato particolari criticità ed i trattamenti fitoiatrici sono stati eseguiti a scopo preventivo in relazione alle più comuni fitopatologie.

### 3.2.1 Rilievi

Due termografi hanno registrato continuamente ed automaticamente e per tutta la durata delle prove i valori di temperatura ed umidità relativa all'esterno ed all'interno della serra.

I rilievi sullo stato fisiologico delle piante sono stati effettuati, a cadenza bisettimanale, a partire dalla prima data di somministrazione di GA3 sino all'emissione del secondo capolino (circa 150 giorni dall'impianto) su tutte le piante sottoposte a trattamento e sulle piante del controllo.

Lo stato fisiologico delle piante è stato determinato attraverso la misurazione della conduttanza stomatica, dell'attività fotosintetica, della traspirazione e temperatura fogliare, rilevate in pieno giorno, mediante analizzatore di scambio gassoso Ciras-2 (PP Systems, Hitchin, England) con sistema aperto "steady-state". Su ogni pianta i rilievi sono stati eseguiti su 2 foglie inserite nella porzione mediana della pianta e ben esposte alla luce.

Durante il periodo di raccolta dei capolini (a partire da 130 giorni dall'impianto) su tutte le piante di ogni trattamento e per entrambi gli ambienti è stata rilevata la percentuale in capolini primari e secondari atrofici ed il numero dei capolini normalmente formati.

## 3.3. Risultati

### 3.3.1 Trend termico

In figura 3.1 sono riportati i valori delle temperature medie massime e minime rilevate all'interno della serra tra giugno 2011 e aprile 2012. Le temperature sono state registrate a partire dai due mesi precedenti l'impianto e sino alla fine dei rilievi sui capolini.

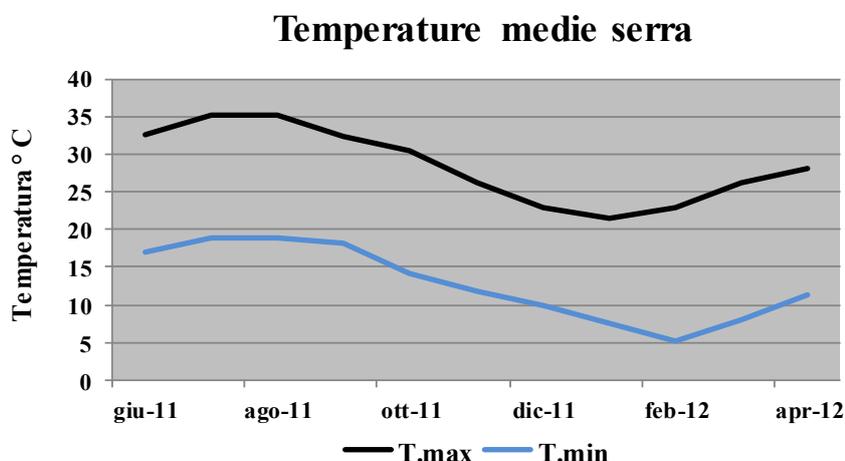
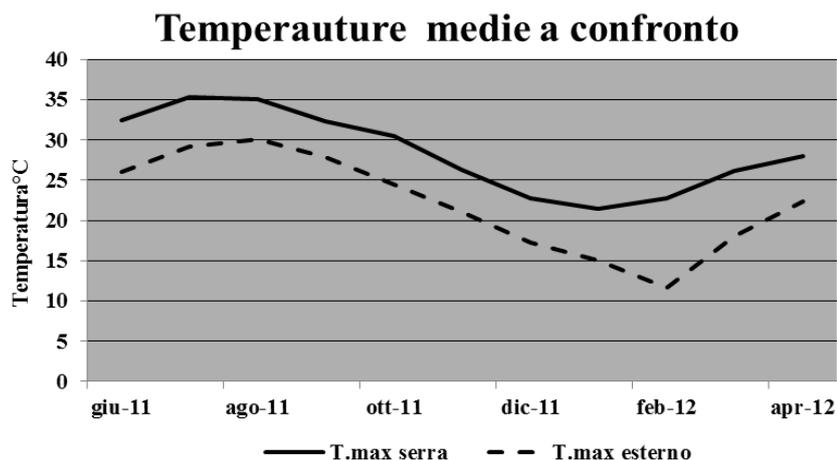


Figura 3.3 Trend termico all'interno della serra (06/2011 – 04/2012)

Nel corso dei mesi più caldi (luglio, agosto e settembre), le temperature massime medie hanno raggiunto i 35 °C a luglio ed agosto e hanno costantemente superato i 30 °C a settembre e ottobre. Tra ottobre e dicembre non sono mai scese al di sotto dei 22 °C. Le temperature minime medie hanno fatto registrare valori tra i 16 °C e i 19 °C da giugno a settembre, mantenendosi sempre al di sopra dei 10 °C anche a ottobre e novembre.

Nella figura 3.2 sono riportate le medie delle temperature massime a confronto nei due ambienti dove è stata effettuata la prova, l'interno della serra e l'esterno.



**Figura 3.4** Confronto tra temperature massime medie registrate all'interno e all'esterno della serra (06/2011-04/2012).

Nell'ambiente esterno alla serra (Fig. 3.2) le temperature massime si sono costantemente attestate al di sotto dei valori termometrici registrati in serra con picchi minimi al di sotto di 20 °C registrati a febbraio.

### 3.3.2 Parametri fisiologici

Per quanto riguarda la traspirazione fogliare, l'ambiente serra ha fatto registrare valori significativamente più alti rispetto all'ambiente fuori serra. A livello di trattamenti, nessuna differenza statisticamente significativa è stata evidenziata tra T1 e controllo. Per contro T2 ha mostrato valori di traspirazione fogliare significativamente più bassi rispetto agli altri trattamenti considerati (Tabella 3.2). La temperatura fogliare ha presentato valori significativamente più alti all'interno della serra, non evidenziando l'influenza dell'attività traspirativa sul fenomeno di *leaf cooling*.

La conduttanza stomatica ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ha confermato quanto rilevato per la traspirazione fogliare a livello di ambiente, con valori significativamente più elevati in serra.

Nella tesi T2 è stata registrata una conduttanza stomatica significativamente più bassa rispetto a T1 e C. Per T2 l'ambiente fuori serra ha mostrato i valori più bassi in assoluto (93,2 vs 72,0 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in serra e all'esterno, rispettivamente) (Tabella 3.2).

La fotosintesi netta (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) ha fatto registrare differenze significative sia tra ambienti che fra trattamenti. La serra ha mostrato valori significativamente più bassi rispetto all'ambiente esterno. Il trattamento T1 ha mostrato un'attività fotosintetica netta media pari a 1,7 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> con i valori più elevati in assoluto registrati all'esterno (3,4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Il trattamento T2 ha fatto registrare i valori meno elevati, confermando quindi quanto rilevato per gli altri parametri fisiologici.

**Tabella 3.2 Medie e analisi della varianza relative ai principali parametri fisiologici rilevati a cadenza settimanale a partire dalla fase di 5-6 foglie completamente espanse e fino alla comparsa del primo capolino di ordine secondario.**

Parametri fisiologici	Ambiente		Media
	Serra	Fuori serra	
<b>Traspirazione [mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>]</b>			
T1	3,5	2,0	<b>2,8 a</b>
T2	2,5	1,0	<b>1,8 b</b>
C	3,4	1,7	<b>2,6 a</b>
<i>Media</i>	<b>3,2 a</b>	<b>1,6 b</b>	
<b>Temperatura fogliare (°C)</b>			
T1	30,7	21,9	<b>26,3 a</b>
T2	30,1	19,5	<b>24,8 b</b>
C	30,7	21,9	<b>26,3 a</b>
<i>Media</i>	<b>30,7 a</b>	<b>21,2 b</b>	
<b>Conduttanza stomatica [mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>]</b>			
T1	140,7	127,9	<b>134,5 a</b>
T2	93,2	72,0	<b>82,7 c</b>
C	133,7	101,9	<b>118,1 b</b>
<i>Media</i>	<b>122,8 a</b>	<b>100,7 b</b>	
<b>Attività fotosintetica netta [mmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>]</b>			
T1	0,0	3,4	<b>1,7 a</b>
T2	0,0	0,9	<b>0,5 c</b>
C	1,9	0,8	<b>1,4 b</b>
<i>Media</i>	<b>0,6 b</b>	<b>1,7 a</b>	
<b>PAR (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>			
T1	525,0	572,8	<b>548,9 a</b>
T2	337,9	119,1	<b>228,5 c</b>
C	588,7	282,2	<b>435,5 b</b>
<i>Media</i>	<b>483,8 a</b>	<b>324,7 b</b>	

Le medie seguite da differenti lettere entro colonna ed entro riga differiscono per p < 0,05 (test LSD)

### 3.3.3 Capolini atrofici

Differenze statisticamente significative sono state registrate sia tra trattamenti che tra ambienti per quanto riguarda la presenza di capolini atrofici di I ordine (Tabella 3.3) espressi in percentuale sulle piante presenti nella prova.

In relazione ai due ambienti a confronto, le piante coltivate in serra hanno mostrato una percentuale significativamente più alta di capolini atrofici primari (61%) rispetto a quelle coltivate all'esterno della serra (10%). Tra i trattamenti, in particolare, T1 ha fatto registrare la percentuale maggiore (50%) di capolini atrofici rispetto al trattamento T2 (30%) e al controllo C (27%).

**Tabella 3.3 Medie e analisi della varianza relative ai capolini di I ordine atrofici (% su piante presenti).**

Trattamento	Ambiente		Media
	Serra	Fuori serra	
T1	70	30	50 a
T2	60	0	30 b
C	53	0	27 b
<b>Media</b>	<b>61 a</b>	<b>10 b</b>	

Le medie seguite da differenti lettere entro colonna ed entro riga differiscono per  $p < 0,05$  (test LSD)

**Tabella 3.4 Medie e analisi della varianza relative ai capolini di II ordine atrofici (% su piante presenti).**

Trattamento	Ambiente		Media
	Serra	Fuori serra	
T1	40	30	35 a
T2	60	0	30 a
C	13	0	7 b
<b>Media</b>	<b>38 a</b>	<b>10 b</b>	

Le medie seguite da differenti lettere entro colonna ed entro riga differiscono per  $p < 0,05$  (test LSD)

In linea generale, il conteggio dei capolini atrofici di II ordine ha confermato quanto rilevato per i capolini di I ordine, per quel che riguarda il confronto tra ambienti, infatti, la percentuale più alta (38%) di capolini anomali, è stata osservata in serra rispetto al 10 % osservato fuori dalla serra (Tabella 3.4). Dal confronto tra trattamenti, non è emersa alcuna differenza significativa tra T1 e T2, mentre, nelle piante di C, è stata osservata una percentuale di capolini atrofici significativamente inferiore rispetto alle piante trattate (7 vs 35-30%) (Tabella 3.4), confermando quanto osservato per i capolini atrofici di I ordine (Tabella 3.3).

Nelle tabelle 3.5 e 3.6 sono riportati i dati dei capolini di I e II ordine commerciabili.

**Tabella 3.5 Medie e analisi della varianza relative alla percentuale di piante con capolini di I ordine commerciabili (% su piante presenti).**

Trattamento	Ambiente		Media
	Serra	Fuori serra	
T1	0	60	<b>30 b</b>
T2	0	27	<b>13 c</b>
C	0	80	<b>40 a</b>
<b>Media</b>	<b>0 b</b>	<b>56 a</b>	

Le medie seguite da differenti lettere entro colonna ed entro riga differiscono per  $p < 0,05$  (test LSD)

**Tabella 3.6 Medie e analisi della varianza relative alla percentuale di piante con capolini di II ordine commerciabili (% su piante presenti).**

Trattamento	Ambiente		Media
	Serra	Fuori serra	
T1	0	70	<b>35 b</b>
T2	0	33	<b>17 c</b>
C	0	87	<b>43 a</b>
<b>Media</b>	<b>0 b</b>	<b>63 a</b>	

Le medie seguite da differenti lettere entro colonna ed entro riga differiscono per  $p < 0,05$  (test LSD)

Differenze statisticamente significative sono state osservate sia in relazione al confronto tra ambienti sia tra trattamenti (Tabelle 3.5 e 3.6). Le piante all'interno della serra non hanno fatto registrare la presenza di capolini commerciabili (0%), per contro una buona percentuale (56%) di piante allevate all'esterno ha prodotto capolini commerciabili (Tabella 3.5). A livello di trattamenti a confronto, il T2 ha mostrato la percentuale più bassa di piante con capolini di I ordine commerciabili (13%). I dati relativi alle piante che hanno formato capolini di II ordine commerciabili (Tabella 3.6) hanno confermato quanto già illustrato per i capolini di I ordine.

### 3.4. Discussione e conclusioni

La ricerca ha consentito lo studio dell'interazione fra le alte temperature e l'applicazione delle gibberelline. L'incidenza con cui l'atrofia può manifestarsi varia in relazione al regime termico (Bianco e Calabrese, 2009). Temperature elevate ( $> 26^{\circ}\text{C}$ ) durante la transizione dell'apice da vegetativo a riproduttivo, sono fra le concause principali dell'atrofia del capolino. Questa fisiopatia assume particolare rilevanza nelle aree dove il risveglio o l'impianto della carciofofaia è anticipato a fine giugno e dove si riscontrano frequentemente elevate temperature massime giornaliere. D'altra parte, numerosi studi hanno

evidenziato che trattamenti con acido gibberellico (GA3) possono sostituire le condizioni ambientali necessarie all'induzione fiorale (Bianco e Calabrese, 2009), comportando pertanto un anticipo del ciclo di sviluppo della coltura.

Nel nostro studio le applicazioni esogene di GA3 hanno determinato in concomitanza con le più alte temperature massime medie registrate in serra una più elevata incidenza percentuale di capolini atrofici sia di I che di II ordine. L'effetto sinergico di applicazione di GA3 e alte temperature è stato confermato dal riscontro ottenuto nelle piante allevate fuori serra dove l'atrofia si è manifestata soprattutto nel trattamento T1 che prevedeva due somministrazioni ( $0.25 \text{ mg L}^{-1}$  di GA3 ciascuna) distanziate di 20 giorni. Per contro le piante trattate con un'unica somministrazione da  $0.50 \text{ mg L}^{-1}$  di GA3 non hanno manifestato capolini atrofici quando allevate fuori serra, questo potrebbe essere spiegato tenendo in considerazione oltre i dati di temperatura dell'aria, anche quelli di temperatura e traspirazione fogliare.

La produzione di capolini di I e II ordine commerciabili è stata significativamente influenzata dall'andamento termometrico registrato all'interno della serra per tutti i trattamenti considerati ma anche per le piante del controllo.

Questo porterebbe a concludere che temperature elevate e gibberelline hanno sicuramente effetto sinergico nella comparsa di capolini atrofici, ma a parità di condizioni ambientali (serra), le elevate temperature incidono maggiormente sulla manifestazione della fisiopatia oggetto di studio. In generale, infatti, un comportamento completamente opposto hanno fatto registrare le piante del controllo allevate fuori serra con una percentuale di capolini commerciabili pari all'80% per i capolini di I ordine e all'87% per quelli di II ordine.

Dal punto di vista applicativo, considerando il frequente ricorso ai trattamenti a base di GA3, al fine di favorire un ulteriore anticipo rispetto alla semplice adozione della forzatura, i risultati suggeriscono l'impiego delle gibberelline su impianti tardivi e sulle varietà che richiedono vernalizzazione tipo il Romanesco.

### 3.5. Bibliografia

- Barta, D.J., Tibbitts, T.W., 1986. Effects of artificial enclosure of young lettuce leaves on tipburn incidence and leaf calcium concentration. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111: 413-416.
- Bianco, V.V., Calabrese, N., 2009. Il carciofo in Puglia, in: *Il carciofo e il cardo*, coordinamento scientifico di N. Calabrese. Collana Coltura & Cultura, Ed. Script, Bologna, p. 464.
- Chen, J., R.J. Henny, D.B. Mc Connell, D.B., Caldwell, R.D., 2003. Gibberellic acid affects growth and flowering of *Philodendron* 'Black Cardinal'. *Plant Growth Regul.* 41, 1-6.
- Eldin, M.A., Schnitzler, W.H., Nitz, G., Razin, A.M., El-Oksh, II, 2007. The effect of gibberellic acid (GA3) on some phenolic substances in globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* (L.) Fiori). *Sci. Hortic.* 111: 326-329.
- Faostat, 2010. Available from: <http://faostat.fao.org/>
- Garcia, S.M., Firpo, I.T., Anido, F.S.L., Cointry, E.L., 1999, Application of gibberellic acid in globe artichoke. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34: 789-793.
- Garcia, S.M., Firpo, I.T., Lopez-Anido, F.S., Cointry, E.L., 1998, Influence of cultural techniques on the profitability of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) in Argentina. *Avances en Horticultura* 3: 43-48.
- Goreta, S., Bucan, L., Dumc, G., 2004. Effect of environment and gibberellic acid (GA3) on earliness and yield of globe artichoke. V. International Congress on Artichoke 5-8 may, Tudela-Navarra, Spain, 155-159.
- Henny, R.J., Chen, J., Mellich, T.A., 2000. Flowering response of three *Spathiphyllum* cultivars to treatment with three levels of Gibberellic Acid. *Proc. Fla. State Hort. Soc* 114: 169-170.
- Koçer, G., Eser, B., 1999. Köklü dip sürgünü özellikleri ve GA3 Uygulamalar enginarda verim dana etkileri. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry* 23: 325-332.

- Koçer, G., Eser, B., 2005. Atrophic head formation and earliness in globe artichoke production. *Acta Horticulturae* 681: 163-168.
- Kozłowska, M., Zajac, M.R., Stachowiak, J. Janowska, B., 2007. Changes in carbohydrate contents of *Zantedeschia* leaves under gibberellin-stimulated flowering. *Acta Physiol. Plant* 29, 27-32.
- Mauro R.P., Russo A., Longo A.M.G., Lombardo S., Pandino G. 2009. Caratteristiche produttive di nuovi genotipi di carciofo a propagazione gamica. pp 237-238 in Proc. 38th Nat. Congr Italian Society of Agronomy, Firenze, Italy.
- Mauromicale G., Ierna A., Lanteri S., Licandro P., Longo A.M.G., Santoiemma G., Morello N. 2004. Panorama varietale del carciofo in Sicilia. *L'Informatore Agrario* 52:15-18.
- Mauromicale, G., Ierna, A., 2000. Characteristics of head of seed-grown globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori) as effected by harvest period, sowing date and gibberellic acid and gibberellic acid. *Agronomie* 20: 197-204.
- Palencia, P., Martineza, F., Ribeiro, E., Pestana, M., Gama, F., Saavedra, T., de Varennes, A., Correia, P.J., 2010. Relationship between tipburn and leaf mineral composition in strawberry *Scientia Horticulturae* 126: 242-246.
- Palzkill, D.A., Tibbitts, T.W., Struckmeyer, B.E., 1980. High relative humidity promotes tipburn on young cabbage plants. *HortScience* 15: 659-660.
- Pandino G., Fraser L.C., Lombardo S., Mauromicale G., Williamson G. 2010. Caffeoylquinic acids and flavonoids in the immature inflorescence of globe artichoke, wild cardoon, and cultivated cardoon. *J. Agric. Food Chem.* 58:1026-1031.
- Rangarajan, A., Ingall, B.A., Zeppelin, V.C., 2000. Vernalization Strategies to Enhance Production of Annual Globe Artichoke. *Horttechnology* 10: 3.
- Ross, J., O'Neill, D., 2001. New interactions between classical plant hormones. *Trends Plant Sci.* 6, 2-4.
- SAS Institute Inc., SAS statistics, release 6.12, SAS Inst., Cary. N.C., 1996.

Zeevaart, J.A.D., 2006. Florigen coming of age after 70 years. *Plant Cell* 18: 1783-1789.

## **Ringraziamenti**

Ringrazio la Dott.ssa Simona Muroli e il Dott. Massimiliano Mameli. per la disponibilità dimostrata mettendo a disposizione dati utili alla stesura del lavoro.

Ringrazio i tecnici del campo didattico 'Mauro Deidda' per l'apporto tecnico durante l'attività di campo.

Un ringraziamento va anche al Dott. Giuliano Fois dell'A.R.P.A.S. (Agenzia della Regione Sardegna per la Protezione dell'Ambiente) per aver fornito i dati meteorologici relativi ai siti; nonché i tecnici della Sezione di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Genetica dell'Università di Sassari per aver fornito i dati pedologici relativi ai siti della prova.