



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO GEMINI

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

XXIII Ciclo.

**Interventi genetici ed agronomici per la costituzione e la valorizzazione di
genotipi di carciofo ad alta resa in “seme” per la produzione di olio.**

SSD AGR/04

Coordinatore: Prof. Alberto Graifenberg

Firma

Tutors:

Prof. Francesco Saccardo

Dr. John Rusty Jordan

Firma.....

Firma.....

Dottorando: Andrea Temperini

Firma.....

Alla mia famiglia

Summary

Many plants accumulate in the seeds or fruits lipids as material for high-energy reserves. These fats such as oil or margarine are used for human consumption, and industrial transformation (soaps, oils, solvents, etc.). Only a few species (olive, sunflower, corn, canola, castor, etc.), in particular those subjected to intensive breeding, are currently used to produce oil. Taking into account the nutraceutical importance of globe artichoke oil reported in literature, a research program aiming at obtaining high yielding hybrids characterized by good organoleptic quality was carried out during the years 2008-2010. Experimental trials were conducted both in Italy and in United States, more precisely at the ARSIAL Experimental Center of Cerveteri (Roma, Italy), at the experimental farm of Tuscia University (Viterbo, Italy) and in the experimental fields of the Big Seed Heart Company (Brawley, CA, USA). The work involved research areas on (i) the pollination technique, (ii) the development of lines and F_1 hybrids characterized by high seed yield, and finally by good qualitative characteristics of the seed oil in the tested genotypes. The study on the pollination technique in globe artichoke showed that, both under open air and greenhouse conditions, it is necessary to relocate the bee hives near the crop and to treat inflorescences of male-sterile clones by a sugar solution (10% of sucrose) allowing to increase flower visits by insect pollinators. Pollination by brush or by head rubbing were valuable techniques, particularly when the female plant is located far from the male one, for example in another field or under another tent. It was also observed that, to obtain high seed yield, it is important to use varieties or hybrids with a high vigor, not only expressed as size of the plant but as pollen production and number of heads per plant. In this respect, the results obtained showed the importance to well know the inbreeding depression effect in globe artichoke, in order to develop uniform, stable and vigorous lines. In addition, these results along with the high level of allogamy observed in globe artichoke

(96%), demonstrate the propensity of this species at the cross-fertilization that is typical of the predominantly cross-pollinated species.

Seed production per head was not affected by the relationship between male-fertile and male-sterile plants inside the tent. This means that, to maximize seed production of male-sterile plants inside the tent, it is necessary to maintain high ratios of Mf/ms because the lowest ratio (1/10), used in the test, did not show productive levels statistically different from those obtained by higher ratios. This indicates that pollen production of a male-fertile plant is capable of ensuring complete fertilization of at least 10 male-sterile plants. Anyway, it is necessary to take into account that pollen production depends both on the genotype and the environment, as well as on their interaction. These results may give an indication on the relationship between Mf and MS plants to be used inside the tent, although it should be noted that other genotypes might have different optimal ratios. The use of uniform and stable male-sterile plants, obtained by continuing the selection as well as by crossing and micropropagation work in progress for several years at Tuscia University and Big Heart Seed Company, lead to the realization of F₁hybrids and lines, characterized by high seed yield and good uniformity. The productive level shown by these F₁ hybrids was found to depend on the productivity of the parental lines used in the hybridizations. On the basis of the results obtained, we can say that globe artichoke, in comparison with cardoon, can be considered as crops usable for the seed oil production. In fact, the seeds of our lines and F₁ hybrids contain about 25% of oil, which has characteristics similar to the oil extracted from sunflower seeds. In particular, the percentage of unsaturated fatty acids is very high and is represented by oleic and linoleic acids; there are also good amounts of tocopherols (vitamin E). The values of the parameters observed showed that the oil extracted from globe artichoke seeds has a good nutritive value so that it is interesting its use as food. Moreover considering that globe artichoke has been little studied in breeding programs aimed at improving oil quality and

increasing seed and oil production it is possible to envisage, in the near future, the use of this species for the seed oil production. The best results obtained in the thesis work have reported in the cards on the morphological description (descriptors, CPVO) as well as on the oil content and quality of the lines selected.

Keywords: *artichoke, cardoon, hybrid, lines, pollination*

Riassunto

Molte piante accumulano lipidi nei semi o nei frutti, come materiale di riserva altamente energetico. Questi grassi sono utilizzabili dall'uomo per usi alimentari, come olio o margarina, e industriali (saponi, lubrificanti, solventi ecc.). Solo alcune specie (olivo, girasole, mais, colza, ricino, ecc.) sono attualmente impiegate per produrre olio destinato ad uso alimentare o industriale e cioè specie che sono state sottoposte ad un intenso lavoro di miglioramento genetico. Tenendo conto delle caratteristiche nutraceutiche dell'olio di carciofo, riportate in bibliografia, nel triennio 2008-2010 è stato attuato un programma di ricerca per verificare la possibilità di ottenere elevate produzioni di semi e di qualità anche in carciofo. Allo scopo sono state condotte delle prove sperimentali sia in Italia che negli Stati Uniti, e più precisamente presso il Centro sperimentale ARSIAL di Cerveteri, l'Azienda didattico-sperimentale dell'Università degli Studi della Tuscia e i campi sperimentali della Big Heart Seed (Brawley, CA). L'attività ha riguardato le seguenti tematiche di ricerca: studio dell'impollinazione; costituzione di linee e ibridi F_1 caratterizzati da alta resa in seme; ed infine le caratteristiche quali-quantitative dell'olio di semi dei genotipi in prova.

Lo studio della la tecnica di impollinazione in carciofo ha evidenziato, sia per quanto riguarda l'ottenimento di seme ibrido F_1 in ambiente confinato sia per incrementare la resa ad ettaro in acheni, che è necessario dislocare delle arnie nei pressi della coltura e, soprattutto per i maschio-sterili, trattare le

infiorescenze con una soluzione zuccherina contenente il 10% di saccarosio in quanto determina un incremento delle visite dei fiori da parte degli insetti pronubi.

L'utilizzo del pennello e lo sfregamento diretto del capolino sono risultate tecniche particolarmente valide quando la pianta da impollinare si trova lontana dalla pianta porta polline, ad esempio in un altro campo o all'interno di un altro isolatore. È stato inoltre osservato che per ottenere elevate rese in seme, occorre utilizzare varietà o ibridi con un elevato vigore, non tanto espresso come dimensioni della pianta ma come produzione di polline e numero di capolini a pianta. A questo riguardo i risultati ottenuti hanno evidenziato l'importanza di conoscere l'effetto della depressione da inbreeding in carciofo, al fine di ottenere linee uniformi e stabili ma anche con un buon vigore vegetativo. Pertanto, questi risultati uniti all'alto livello di allogamia osservato in carciofo (96%), dimostrano la propensione di questa specie all'alloincrocio, tipico delle specie prevalentemente allogame.

La produzione di seme per capolino non è stata influenzata dai rapporti tra maschio-fertili e maschio-sterili adottati all'interno dell'isolatore. Questo sta ad indicare che all'interno dell'isolatore per massimizzare le rese in acheni dei maschio-sterili, non è necessario mantenere elevati rapporti Mf:ms perché il rapporto più basso (1:10) utilizzato nella prova non ha fatto registrare livelli produttivi statisticamente diversi da quelli ottenuti con rapporti maggiori. Questo dimostra che la produzione di polline di un maschio-fertile è in grado di assicurare la completa fecondazione di almeno 10 maschi-sterili. C'è comunque da tener conto che la produzione di polline dipende dal genotipo e dall'ambiente, nonché dalla loro interazione, e che quindi, questi risultati possono dare un'indicazione sulla proporzione di Mf e ms da utilizzare all'interno degli isolatori, anche se va precisato che altri genotipi potrebbero avere dei rapporti ottimali diversi.

L'impiego di linee e di cloni maschio-sterili uniformi e stabili, ottenuti proseguendo il lavoro di selezione e di incrocio in corso da più anni presso l'Università della Tuscia e la *Big Heart Seed*, ha permesso di realizzare ibridi F_1 , caratterizzati da alte rese in seme e da una buona uniformità. Il livello produttivo raggiunto dai suddetti ibridi F_1 , è risultato dipendere dalla produttività delle linee parentali utilizzate negli incroci.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile affermare che il carciofo e il cardo possono essere considerate delle specie vegetali utilizzabili per la produzione di olio estratto dai semi. I semi di carciofo, infatti, contengono circa il 25% di olio, che presenta caratteristiche simili a quello dell'olio di semi di girasole. In particolare, la percentuale degli acidi grassi insaturi è molto elevata ed è rappresentata da acido oleico e linoleico; sono anche presenti elevate quantità di tocoferoli (vitamina E).

I valori dei parametri osservati hanno evidenziato che l'olio estratto da semi di carciofo presenta un buon valore alimentare per cui risulta interessante il suo impiego nell'alimentazione umana.

Inoltre, tenendo presente che il carciofo non è mai stato sottoposto a programmi di miglioramento genetico mirati ad esaltare la qualità dell'olio e ad incrementare la produzione di semi e la resa in olio, è possibile ipotizzare, in un prossimo futuro, l'impiego di questa specie per la produzione di olio di semi.

Parole chiave: carciofo, cardo, ibridi F_1 , linee, impollinazione

Indice

1. PARTE GENERALE.....	1
1.1. Il carciofo	1
1.1.1. Cenni tassonomici	1
1.1.2. Diffusione e importanza economica	3
1.1.3. Descrizione botanica	7
1.1.4. Biologia ed ecologia.....	12
1.1.5. Metodi di moltiplicazione.....	14
1.1.6. Stress biotici ed abiotici.....	23
1.1.7. Tecnica colturale	31
1.1.8. Raccolta	35
1.1.9. Conservazione	36
1.1.10. Commercializzazione	37
1.1.11. Trasformazione	38
1.1.12. Aspetti nutrizionali.....	39
1.2. Genetica e miglioramento genetico	44
2. PARTE SPERIMENTALE	59
2.1. Premessa.....	59
2.2. Obiettivi	63
2.3. Studio dell'impollinazione	66
2.3.1. Materiali e metodi.....	66
2.3.2. Risultati e discussione	74
2.4. Costituzione di linee e ibridi F₁ caratterizzati da alta resa in seme	82
2.4.1. Materiali e metodi.....	82
2.4.2. Risultati e discussione	91

2.5. Caratteristiche quali-quantitative dell'olio di semi dei genotipi in prova	110
2.5.1. Premessa	110
2.5.2. Materiali e metodi.....	114
2.5.3. Risultati e discussione	116
2.6. Conclusioni.....	121
2.7. Schede descrittive	123
3. BIBLIOGRAFIA	135

1. PARTE GENERALE

1.1. Il carciofo

1.1.1. Cenni tassonomici

Il carciofo, [*Cynara scolymus* L. = *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori], è una pianta angiosperma dicotiledone, appartenente all'ordine delle *Asterales*, famiglia delle *Asteraceae*, sottofamiglia *Tubuliflorae*, tribù *Cynareae*. A questa famiglia appartengono anche la *Matricaria chamomilla* L. (camomilla), il *Chamamaleum nobile* L. (camomilla romana), la *Dalia variabilis* L. (dalia), nonché l'*Heliantus annuus* L. (girasole).



Figura 1 - Da sinistra a destra: carciofo, cardo coltivato e cardo selvatico.

Le specie che costituiscono il genere *Cynara* sono diploidi ($2n = 2x = 34$) e possono essere suddivise in due gruppi; al primo gruppo appartengono il carciofo (*Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori), il cardo coltivato (*Cynara cardunculus* var. *altilis* DC.) ed il cardo selvatico [(*Cynara cardunculus* var. *sylvestris* (Lamk) Fiori)] (fig. 1), mentre il secondo gruppo include sette specie selvatiche: *Cynara syriaca* Boiss, *C. auranitica* L., *C. cornigera* Lindely, *C. algarbiensis* Cosson, *C. baetica* Sprengel, *C. cyrenaica* Maire e Weiller e *C. humilis* L.. Alcune specie di *Cynara* sono distribuite prevalentemente nel

Mediterraneo occidentale (*C. baetica*, *C. algarbiensis* e *C. humilis*), mentre altre sono maggiormente presenti nel Mediterraneo orientale (*C. syriaca*, *C. cyrenaica*, *C. cornigera*). Il cardo selvatico, ossia il progenitore diretto sia del carciofo che del cardo coltivato, è distribuito in entrambi gli areali del Mediterraneo, ma con differenze genetiche rivelanti tra i tipi del Mediterraneo centro-orientale e quelli del Mediterraneo occidentale. Tali affermazioni sono basate sullo studio di diverse regioni del DNA dei vari campioni di *Cynara* analizzati dove si sono notate differenze in alcune sequenze di DNA. Inoltre, da questi studi si sono avute una serie di indicazioni che confermano, così come osservato da dati morfologici, che all'interno dei cardo selvatici si possono identificare due pool genici: quello centro-orientale e quello occidentale. Dal pool genico centro-orientale sarebbe stato domesticato il carciofo, mentre da quello occidentale il cardo coltivato [54].

Il carciofo è un ortaggio tipico dell'area mediterranea e l'Italia è il principale produttore mondiale. È stato coltivato ampiamente in passato, fin dagli albori delle civiltà occidentali, anche grazie alle molte virtù che gli erano attribuite e alle sue graditissime qualità organolettiche.

La domesticazione del carciofo sembra essere iniziata in Sicilia, inoltre in tutte le civiltà che si sono sviluppate intorno al bacino del Mediterraneo si trova comunque traccia della conoscenza e dell'uso di questa pianta. Già nel IV secolo a.C. gli Arabi lo coltivavano, sotto il nome di *al-karshuf* o *ardi-shoki*. Dai nomi arabi, che significano "spina di terra" e "pianta che punge", con allusione alla presenza di spine sulle brattee che all'epoca erano sicuramente preseti, sono derivati anche i nomi del carciofo nelle varie lingue nazionali europee.

Certamente il carciofo era noto e apprezzato sia presso i Greci e i Romani, sia presso le popolazioni dell'Africa settentrionale. I recenti scavi archeologici effettuati nell'area di *Mons Claudianus*, colonia penale romana (232-68 a.C.) a circa 500 km dal Cairo, in Egitto, hanno permesso di rintracciare "semi" e brattee verosimilmente riconducibili a piante già allora conosciute come carciofo [54].

1.1.2. Diffusione e importanza economica

Il carciofo è coltivato nel mondo su una superficie di circa 130.000 ettari, con una produzione totale di 1.327.000 tonnellate. In generale negli ultimi vent'anni sia la superficie coltivata sia la produzione totale dei Paesi in cui la coltivazione è praticata da lungo tempo non hanno subito variazioni significative (tab. 1), mentre sono stati registrati notevoli incrementi in quelli in cui il carciofo è stato introdotto di recente (fig. 2), [54].

Tabella 1 - Superficie (ha x 1.000) investita a carciofo nel mondo dal 2000 al 2008.

Paesi	Anni								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Italia	50,3	49,3	50,5	49,9	50,1	50,1	50,4	50,1	50,0
Spagna	19,7	18,7	19,3	19,1	18,1	18,8	18,1	17,3	16,0
Cina	7,5	8,0	8,0	9,0	9,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Francia	11,8	11,7	11,1	10,5	10,3	10,2	10,0	9,7	9,5
Perù	0,4	0,4	0,5	1,3	2,8	4,2	6,8	7,8	7,8
Egitto	4,6	3,5	3,1	5,8	2,8	3,5	5,6	8,0	7,7
Cile	3,1	3,2	3,4	3,7	4,0	4,2	4,3	5,0	5,0
Argentina	4,5	4,5	4,6	4,7	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7
Marocco	3,1	3,2	3,2	3,1	3,2	3,7	3,2	3,6	4,1
USA	3,6	3,2	3,3	2,9	3,0	3,2	3,5	3,9	3,6
Turchia	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,9	2,8	3,0
Algeria	4,1	3,2	3,2	2,8	3,3	2,8	1,7	1,8	2,3
Tunisia	2,6	2,6	3,5	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	2,3
Grecia	2,8	3,0	3,1	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	1,8
Mondo	123,1	119,8	121,1	123,0	121,2	152,5	128,8	132,7	130,2

Fonte dati: ISTAT (2008).

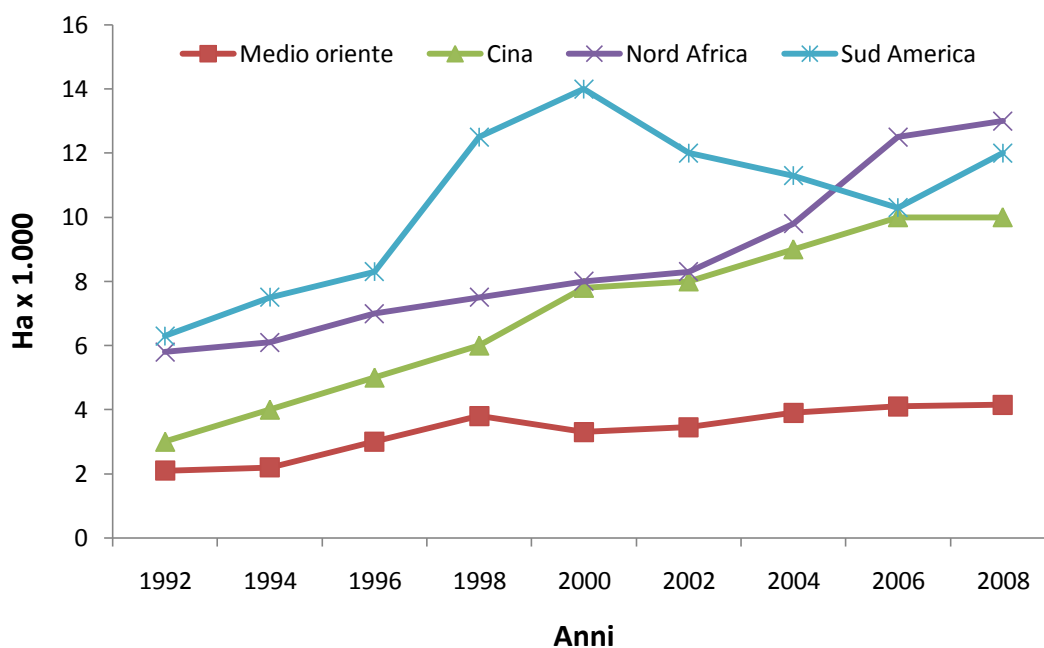


Figura 2 - Superficie (ha x 1.000) coltivata a carciofo in Cina, Medio Oriente, Nord Africa e Sud America dal 1992 al 2008. Dati: FAOSTAT.

Nell'ultimo ventennio, il maggior incremento delle superfici investite a carciofo è avvenuto in Cina ed in Perù (fig. 3), mentre in Francia è stato osservato un importante decremento; questi cambiamenti hanno fatto sì che la Cina (10.000 ha) si collocasse al terzo posto dopo Italia (49.952 ha) e Spagna (16.042 ha), mentre la Francia (9.475 ha) dal terzo posto è passata al quarto (fig. 3).

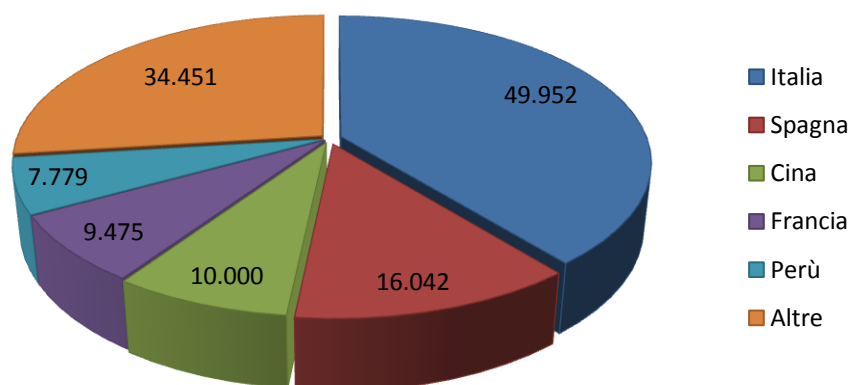


Figura 3 - Superficie (ha) coltivata a carciofo nel mondo (2008). Fonte dati: ISTAT.

In Italia sia la superficie che la produzione di carciofo si sono stabilizzate nell'ultimo decennio con valori rispettivamente di circa 50.000 ha e 50.000 t (fig. 4).

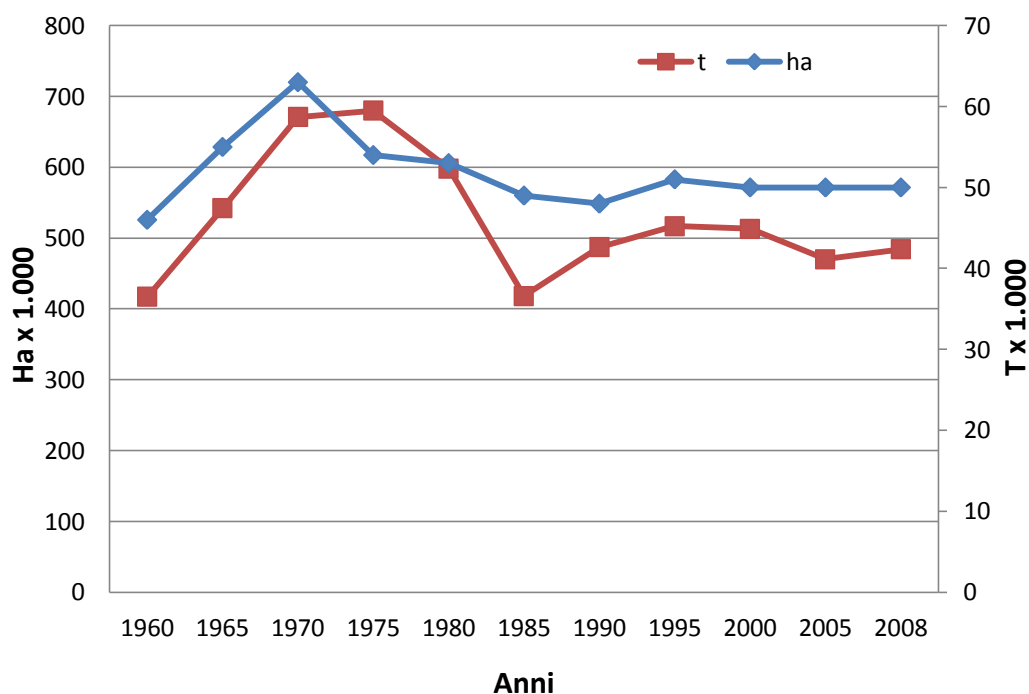


Figura 4 - Superficie coltivata (ha) e produzione di capolini (t) rilevati in Italia dal 1960 al 2008. Fonte dati: ISTAT.

Al primo posto come superficie coltivata troviamo la Puglia con 17.085 ha, al secondo posto la Sicilia con 14.270 ha e al terzo posto la Sardegna con 12.952 ha (tab. 2).

Tabella 2 - Superficie (ha x 1.000) coltivata a carciofo nelle regioni maggiormente interessate a questa coltura in Italia dal 2000 al 2008.

Regioni	Anni								
	2000	2001	2002	2003	2001	2005	2006	2007	2008
Puglia	16,7	16,8	16,9	17,0	16,7	16,5	16,7	16,8	17,1
Sicilia	13,7	13,7	13,8	14,2	14,9	15,3	15,0	14,7	14,3
Sardegna	12,1	12,9	13,6	13,0	12,9	12,9	13,0	13,0	13,0
Campania	2,9	2,5	2,3	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	2,0
Lazio	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0
Toscana	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6
Marche	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Basilicata	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Abruzzo	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Emilia-Romagna	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Calabria	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

Fonte dati: ISTAT (2008).

Per quanto riguarda gli scambi commerciali del prodotto fresco, il totale delle esportazioni nel 2007 ammonta a 56.551 tonnellate per un valore complessivo di 70.648.000 \$. La Spagna è al primo posto per l'esportazione dei capolini con circa 21.500 tonnellate, corrispondenti al 10% della produzione nazionale e, in valore, a poco più di 29 milioni di \$. L'Egitto è il secondo esportatore mondiale con 12.000 t, seguono Francia e Stati Uniti rispettivamente con 7.391 t e 5.172 t; l'Italia esporta 4.162 t di capolini, che corrispondono solo allo 0,9% della produzione nazionale. Tra i Paesi importatori, la Francia si attesta al primo posto con 20.765 t, seguita dall'Italia con 15.165 t, che precedono nettamente altri Paesi quali Olanda, Canada, Germania e Belgio.

La produzione egiziana arriva in Italia durante il periodo invernale, prevalentemente da metà dicembre a fine febbraio, quando la richiesta del mercato nazionale è elevata, in quanto in molti areali cinaricoli la produzione rallenta, o si interrompe, a causa delle basse temperature. Diversamente, la Francia esporta carciofi soprattutto nel periodo estivo, quando le carciofaie in Italia sono nella fase di riposo [54].

1.1.3. Descrizione botanica

Il carciofo è una pianta erbacea poliennale, perennante, con apparato radicale differentemente sviluppato in funzione del tipo di moltiplicazione adottata.

Le piante provenienti da achenio presentano la radice principale fittonante e numerose radici secondarie, mentre quelle da carduccio o da ovolo hanno radici avventizie fibrose che col passare del tempo diventano carnose, si ingrossano (le radici più piccole scompaiono) e perdono la loro funzione di assimilazione a vantaggio di quella di riserva.

A mano a mano che la pianta si accresce diventa sempre più evidente il rizoma, dal quale si originano sia i germogli che le radici. L'emissione dei germogli è controllata dalla dominanza apicale e la quantità emessa da ciascun rizoma dipende sia dal genotipo che dalla tecnica di propagazione adottata; infatti le piante micropropagate tendono ad emettere, nel primo anno di impianto, un minor numero di carducci rispetto a quelle ottenute da ovoli e da carducci.

Il caule è molto raccorciato e porta inizialmente una rosetta di foglie tanto ravvicinate che il carciofo viene considerato pianta acaule. La gemma apicale, inizialmente presente allo stadio vegetativo, in condizioni opportune passa allo stadio riproduttivo per cui si origina lo scapo florale recante all'apice il capolino centrale detto "cimarolo".

L'asse fiorale normalmente è alto 40-80 cm, cilindrico, leggermente scanalato nella parte longitudinale, eretto, ramificato, di colore verde-grigio e con foglie alterne, anche le ramificazioni laterali terminano con un capolino [54].

Generalmente le foglie adulte sono ricche di peli e stomi su entrambe le pagine, con netta predominanza su quella inferiore. I peli, di varia forma, sono presenti in misura diversa nelle popolazioni e cultivar sia sulla lamina che sul picciolo.

Il numero e la morfologia delle foglie rappresentano caratteri di differenziazione varietale; le cultivar precoci sono generalmente meno fogliose, il colore varia dal verde chiaro allo scuro con differenti sfumature di grigio-argento in funzione dell'intensità della pubescenza sulla pagina superiore e/o inferiore. La posizione della foglia sulla pianta ne influenza la forma, che risulta generalmente lanceolata, a lamina intera per quelle sottostanti il capolino e lobata più o meno settata per le altre.

La dimensione in lunghezza e larghezza, valutata sulla 5^a – 7^a foglia, porta alla classificazione in foglie grandi (lunghe 90-100 cm e larghe 50-60 cm), medie (lunghe 70-80 cm e larghe 40-50 cm), piccole (lunghe meno di 70 cm e larghe meno di 40 cm).

La formazione del capolino inizia dall'apice vegetativo, che attraverso la fase di transizione, giunge alla fase globosa che poi si appiattisce e si allarga mostrando il mantello costituito da due strati meristematici che si sovrappongono allo strato parenchimatoso. In questa fase appaiono i primordi fiorali, che continueranno ad accrescersi centripetamente fino a interessare l'intero ricettacolo (Fig. 5); ciò costituisce il completamento della fase di differenziazione, che coincide con la formazione del capolino.

Il capolino compare circa 90 giorni dopo il risveglio vegetativo per le cultivar precoci e dopo 120-220 giorni per quelle tardive e la sua presenza risulta condizionata da foto e termoperiodo, mentre le dimensioni decrescono aumentando l'ordine delle ramificazioni.

I fiori sono ermafroditi (flosculi), tubulosi, caratteristici delle asteracee, proterandri (Fig. 5).

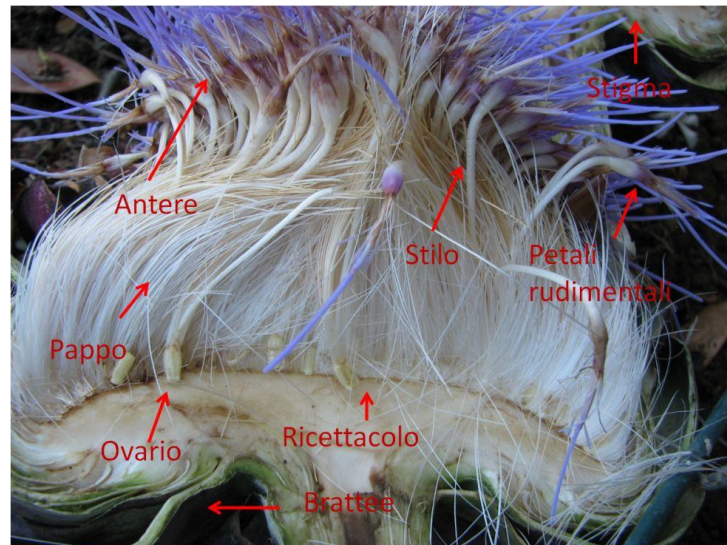


Figura 5 - Infiorescenza di carciofo in sezione trasversale.

Lo stigma diventa recettivo 4-8 giorni dopo l'antesi quando il polline vischioso dello stesso fiore ha generalmente perso la facoltà germinativa in quanto la sua fertilità dura soltanto 3-4 giorni; perciò l'autofecondazione dello stesso fiore è praticamente impossibile. La fioritura è scalare e, procedendo in modo centripeto (fig. 6) nello stesso capolino, si completa in 3-5 giorni, permettendone però anche se in misura ridotta l'impollinazione tra fiori dello stesso capolino.

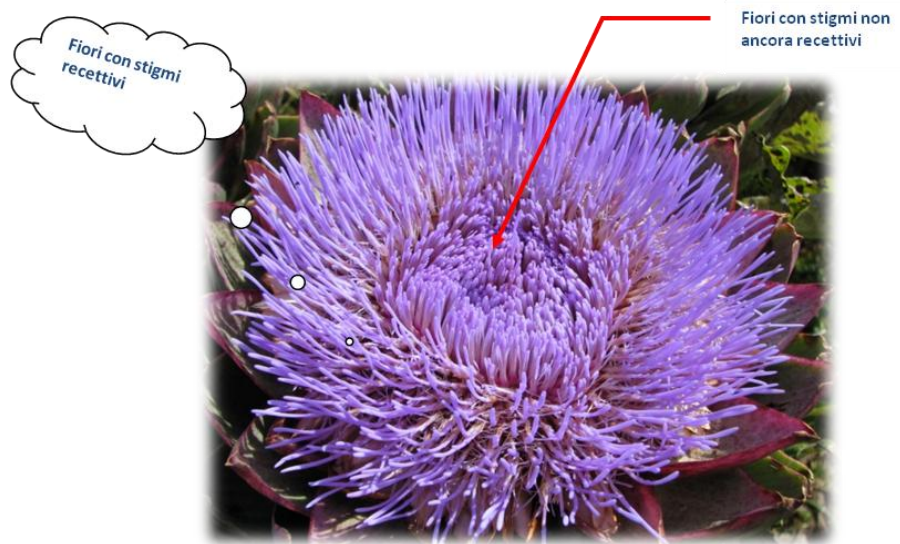


Figura 6 – Fioritura centripeta in carciofo.

Il trasporto del polline avviene per mezzo di insetti pronubi. Il frutto è un achenio che matura circa 60 giorni dopo la fecondazione; il colore di fondo varia dal grigio chiaro al marrone scuro (fig. 7), e possono essere presenti anche delle striature di colore nero più o meno accentuate a seconda delle cultivar.



Figura 7 - Acheni di carciofo con (a destra) e senza (a sinistra) pappo.

La lunghezza media è di 7 mm, la larghezza di 3,5 mm. Il peso di 1.000 semi varia da 30 a 70 g [16].

Il capolino principale, a seconda della varietà, può assumere una forma allungata (rapporto altezza/larghezza 1,40-1,80), tondeggiante (rapporto 0,70-1,10), ovale (rapporti intermedi ai primi due). Alla forma è riconducibile anche la caratteristica varietale per cui le cultivar precoci presentano generalmente

capolino cilindrico, le spinose conico e ovoidale, le violette ellissoidale, le varietà romanesche sferico o sub sferico (fig. 8);

Un altro carattere importante e distintivo della varietà è rappresentato dalla compattezza del capolino, riconducibile alla disposizione delle brattee, all'andamento climatico e alla forma del capolino;



Figura 8 - Tipologie di capolini: romaneschi (A), violetti (B), spinosi (C), catanesi (D).

Anche la dimensione, determinata misurando l'altezza del capolino e il diametro nel punto di massima larghezza, è un parametro distintivo della varietà, e viene usato anche per determinarne l'appartenenza ai diversi calibri.

Per il mercato fresco i capolini sono classificati, in considerazione del loro diametro massimo in: molto grandi se uguale o maggiore a 11 cm; grandi se compreso tra 11 e 9 cm; medi tra 9-7,5 cm ed infine piccoli se inferiore a 7,5 cm.

Per l'industria di trasformazione la suddivisione in calibri risulta maggiormente frazionata per cui al 1° calibro appartengono i capolini con diametro < 46 mm; al 2° quelli compresi tra 46 e 52 mm; al 3° tra 52 e 58 mm; al 4° da 58 a 64 mm; al 5° tra 64 e 70 mm ed infine al 6° quelli > 70 mm. Nella

terminologia comune i capolini appartenenti al 2° e 3° calibro vengono denominati “uovo”; quelli appartenenti al 4°, al 5° e al 6° calibro “mezzo carciofo”.

Il numero di capolini per pianta è una caratteristica tipicamente varietale ed è in funzione del numero di ramificazioni che si dipartono dall’asse fiorale; è il carattere di maggiore rilevanza economica in quanto la commercializzazione del carciofo per il mercato fresco è numerica e non ponderale. In funzione del numero di capolini raccolti per pianta, le cultivar possono essere classificate in: poco produttive (< 7), mediamente produttive (7-10), produttive (11-14), molto produttive (> di 14).

Anche il peso rappresenta una caratteristica varietale per quanto influenzato dall’epoca di produzione e raccolta, e della tecnica colturale; i capolini privi di gambo, vengono considerati, in funzione del loro peso in: piccoli (100-150 g), medi (150-250 g) e grossi (>250 g).

1.1.4. Biologia ed ecologia

Il carciofo è una pianta perennante, adatta al clima mediterraneo, e presenta un ciclo biologico caratterizzato da tre stadi principali: vegetativo, riproduttivo e riposo vegetativo. La ripresa vegetativa avviene tra fine estate ed inizio autunno, a seconda della disponibilità idrica del terreno, ed è caratterizzata da una intensa crescita sia della parte epigea che ipogea, con lo sviluppo di foglie frastagliate, di un fusto molto raccorciato (rizoma) e di un profondo apparato radicale. Durante lo stadio vegetativo, dal rizoma, attraverso lo sviluppo delle gemme, si formano i carducci, in numero più o meno elevato a seconda dell’età della carciofaia e della varietà. Dopo circa 60 giorni dal risveglio vegetativo, avviene la transizione dell’apice caulinare che passa da vegetativo a riproduttivo. Il carciofo è considerato una specie a giorno lungo con periodo critico di 10,5 ore [9]. La differenziazione fiorale avviene sotto l’azione contemporanea delle basse

temperature e del fotoperiodo, dopo che la pianta ha sviluppato 5-8 foglie. Nelle cultivar rifioranti, tuttavia, il processo di induzione a fiore risulta meno dipendente dalle condizioni termofotoperiodiche [29]; ciò è anche confermato dalla capacità delle piante delle varietà rifioranti, a differenziare gemme a fiore dall'autunno alla primavera. Temperature superiori a 25 °C durante la transizione dell'apice da vegetativo a riproduttivo, determinano una intensa crescita della pianta, causando una carenza di Ca e Bo all'apice in differenziazione, che porta alla successiva comparsa di capolini atrofici [66].

Le condizioni più favorevoli per la crescita si hanno in autunno ed in primavera. La temperatura ottimale di crescita è compresa tra 14 e 18 °C; temperature inferiori a 10 °C sono critiche per la produzione mentre temperature elevate (> 25 °C) riducono la pigmentazione violetta dei capolini. Il carciofo, soprattutto durante la produzione di capolini, è soggetto a danni da freddo; a 0 °C si osserva il distacco della cuticola sulle brattee dei capolini, a -4 °C si hanno danni permanenti alla parte aerea, a -7 °C si ha il congelamento di tutta la pianta e a -10 °C si ha la morte del rizoma.

Il carciofo predilige terreni di medio impasto, profondi, freschi, ben drenati e con pH compreso tra 6 ed 8. I ristagni idrici, determinano asfissia radicale con ingiallimento della parte aerea [66].

La temperatura ottimale di germinazione del "seme" di carciofo, è compresa tra 20 e 25 °C; a questo range di temperatura non sembra esserci il fenomeno della dormienza, anche se è stata osservata una bassa contemporaneità di emergenza dipendente dalla cultivar utilizzata. Temperature superiori a 25 °C, spesso osservate durante l'impianto, influiscono negativamente sulla germinazione dei semi, causando una momentanea dormienza del seme. L'utilizzo di tecniche come l'osmopriming per uniformare la germinazione del carciofo, ha dato, fino ad ora, risultati negativi [24].

1.1.5. Metodi di moltiplicazione

I metodi di moltiplicazione del carciofo possono essere divisi in due gruppi: quelli di tipo gamico e quelli agamici.

Moltiplicazione agamica

- Metodi tradizionali

I metodi di moltiplicazione del carciofo tramite carducci ed ovoli, seppur ancora oggi i più diffusi, presentano notevoli svantaggi, riassumibili essenzialmente in: variabilità dei carducci e ovoli relativa alla loro età, stadio fisiologico, forma, dimensione, posizione sulla pianta madre, numero di gemme presenti ecc.. Tutto questo determina gravi problemi di tipo agronomico relativi alla sanità della coltura, all'uniformità della carciofaia e al decremento produttivo sia in termini quantitativi che qualitativi, con evidenti ricadute sulla resa economica della coltura. Inoltre, impiegando il carduccio come materiale di propagazione, l'epoca di impianto varia a seconda della disponibilità di questo materiale con conseguenti ripercussioni sull'epoca di raccolta e la resa in capolini al primo anno di impianto.

Nella tecnica classica di coltivazione i carducci sono disponibili a distanza di 30-40 giorni dal risveglio vegetativo, che normalmente viene promosso con abbondanti irrigazioni nei primi giorni di agosto. I carducci vengono prelevati durante la fase di scarducciatura che avviene quando i carducci sono sufficientemente sviluppati e prevede, nel carciofo di tipo Romanesco, l'asportazione di tutti i carducci ad eccezione di quello che andrà a costituire la parte aerea della pianta.

Gli ovoli vengono prelevati al momento della dicioccatura e posti a germogliare in luogo fresco e ombreggiato. Trascorsi circa 20 giorni, gli ovoli che hanno iniziato la fase di germogliamento vengono posti direttamente a dimora [65].

- Metodi innovativi

1) *Micropropagazione*

La propagazione *in vitro*, nota anche con il termine di micropropagazione o propagazione meristemica, è oggi la tecnica più all'avanguardia nel campo della moltiplicazione delle piante. Essa consente la produzione rapida di un gran numero di individui (cloni) genotipicamente e fenotipicamente identici alla pianta selezionata per caratteristiche fisiologiche e produttive di pregio, con un processo di propagazione vegetativa simile a quello della talea. Contrariamente alle tecniche tradizionali di propagazione, che si effettuano in serra o in campo, la micropropagazione viene condotta in condizioni strettamente asettiche e con l'impiego di camere di crescita caratterizzate da parametri di luce e temperatura controllati.

A partire dalla coltura *in vitro* di un apice vegetativo, è possibile ottenere un germoglio che, in opportune condizioni di coltura, viene indotto a proliferare sviluppando nuove gemme. La fase seguente è quella che riguarda l'induzione delle radici mediante il trasferimento su un terreno di coltura idoneo, originando quindi una piantina completa (fig. 9). A questo punto, la piantina deve essere acclimatata, per far questo le piantine sono prima trasferite in un ambiente protetto come quello della serra ed in fine dopo l'ambientamento, possono essere messe a dimora in pieno campo. Non tutti i genotipi rispondono allo stesso modo nei confronti delle diverse fasi che caratterizzano la micropropagazione, in particolare molto spesso ci sono problemi nella fase della radicazione, questo determina un aumento dei tempi di moltiplicazione e conseguentemente dei costi delle piantine.



Figura 9 - Piantina proveniente da vitro pronta per l'ambientamento.

Attualmente l'impiego di piante micropropagate è diventato una realtà soprattutto per la moltiplicazione di genotipi di carciofo primaverili, consentendo di modificare i metodi tradizionali di moltiplicazione (fig. 10) e offrendo la possibilità di clonare piante selezionate per alcuni caratteri quali la precocità.

Con le piante micropropagate di carciofo è possibile ottenere l'entrata in produzione della carciofaia già al primo anno di coltivazione.



Figura 10 – Carciofaia impiantata con carducci (a sinistra) e con piante micropropagate (a destra)

In generale, i carciofi a produzione primaverile risultano fenotipicamente stabili anche dopo molte subcolture, mentre per quelli di tipologia rifiorente, coltivati prevalentemente nel Sud Italia e nelle Isole, esiste un'instabilità genetica delle piante micropropagate. Infatti, una buona parte delle piante trasferite in campo, perde il normale *habitus* morfo-fisiologico tipico dei genotipi rifiorenti e il carattere della precocità. Tale instabilità fenotipica sembra imputabile alla lunghezza del ciclo di moltiplicazione e alla dimensione dell'espianto. Per queste tipologie, l'orientamento attuale è quello di utilizzare la coltura *in vitro* per la produzione di piante madri virus esenti da utilizzare poi per la propagazione con tecniche di moltiplicazione *in vivo*.

2) Moltiplicazione di carducci da piante madri allevate “fuori-suolo”

Negli ultimi anni una nuova tecnica di moltiplicazione del carciofo è stata studiata e messa a punto alla Facoltà di Agraria dell’Università della Tuscia [64], tale tecnica prevede la moltiplicazione del carciofo partendo da piante madri risanate da patogeni e allevate in serra. In questo modo, si riescono ad ottenere vantaggi di tipo sanitario del materiale di propagazione simile a quelli che si hanno con la micropropagazione uniti però ad un basso costo delle piantine.

La tecnica di moltiplicazione “fuori suolo” dei carducci (fig. 11), prevede le seguenti fasi:

- 1.** coltivazione “fuori suolo” di piante madri provenienti da vitro;
- 2.** capitozzatura delle piante madri;
- 3.** emissione e prelievo dei carducci;
- 4.** frigoconservazione dei carducci;
- 5.** radicazione dei carducci;
- 6.** ambientamento e commercializzazione delle piantine.



Figura 11 - Strategia utilizzata per l'ottenimento di piantine di carciofo risanate e a basso costo.

Le piante micropropagate vengono utilizzate come piante madri e allevate “fuori-suolo” in coltura protetta. Le piantine sono trapiantate in vasi del diametro di 20 cm, disponendoli in modo da ottenere una densità colturale pari a 4 piante m². Il fabbisogno idrico e nutrizionale è assicurato mediante fertirrigazione adottando un sistema irriguo localizzato a goccia. La soluzione nutritiva utilizzata contiene le seguenti concentrazioni di nutrienti (mg/l): 210 N-NO₃; 31 P; 64 S; 234 K; 200 Ca; 48 Mg; 1,0 Fe; 0,1 B; 0,1 Mn; 0,01 Zn; 0,01 Cu; 0,01 Mo. Durante questa prima fase, per un regolare sviluppo delle piante la temperatura notturna non deve scendere sotto i 10 °C e quella diurna non deve superare i 27 °C. Quando le piante madri hanno raggiunto lo stadio di circa 10 foglie viene favorita l’emissione dei carducci dalle gemme ascellari mediante un trattamento ormonale fogliare con una soluzione di benzilamminopurina (BAP, 160 mg/l) e una settimana dopo si effettua la capitozzatura delle piante (fig. 12), avendo cura di eliminare la gemma apicale e di preservare l’integrità delle altre gemme presenti sul rizoma.



Figura 12 - Prima (a sinistra) e dopo (a destra) la capitozzatura delle piante madri in serra per l'ottenimento di carducci.

A distanza di circa 30 giorni dalla capitozzatura, i carducci si presentano ben sviluppati e quindi adatti alla radicazione e alla frigoconservazione (peso fresco totale ≥ 30 g, corrispondente allo stadio di 3-4 foglie). Tutti i carducci vengono prelevati eccetto uno che servirà per ricostituire la pianta madre e quindi per poter effettuare un ciclo successivo di produzione di carducci. Dopo il distacco dalla pianta madre i carducci possono essere immediatamente messi a radicare, se il periodo coincide con quello per la produzione di piantine a radice protetta (periodo primaverile-estivo) o frigoconservati per la conservazione fino a tale periodo [47].

Moltiplicazione gamica

Il carciofo può essere moltiplicato oltre che per via agamica (carducci, ovoli ecc.), anche per via gamica attraverso il “seme”. Purtroppo però, la maggior parte delle cultivar impiegate, in particolare in Italia, Spagna e Francia, sono propagate vegetativamente vista l'impossibilità di queste varietà di essere propagate via seme, dovuta essenzialmente alla enorme variabilità riscontrata nelle loro progenie. Ciò, è dovuto, all'elevato grado di eterozigosi tipico delle

varietà a propagazione vegetativa. Esistono però in commercio, anche per il carciofo, delle varietà propagate via seme come ad esempio linee e ibridi F_1 . Dato che il carciofo è una specie allogama ad impollinazione entomofila, è essenziale per ottenere il seme commerciale delle linee ed anche degli ibridi F_1 , adottare delle particolari tecniche per poter eliminare o quantomeno ridurre al minimo il rischio di inquinamento della semente dovuto alla presenza di polline estraneo portato da insetti pronubi. Pertanto è necessario ricorrere all'utilizzo di reti anti-insetto o comunque ad un isolamento spaziale facendo in modo che piante di cardo e di carciofo appartenente ad altri cloni siano sufficientemente lontane dal campo dove si intende riprodurre il seme. In Italia, ad esempio, è molto difficile trovare zone adatte alla riproduzione di varietà di carciofo da seme per la presenza diffusa di piante spontanee di cardo e diversi cloni di carciofo. Mentre, in ambienti del sud della California, dove si è effettuata parte della nostra ricerca, risulta molto più facile trovare ambienti particolarmente idonei per la produzione di seme del carciofo, sia per le particolari condizioni climatiche (scarsa piovosità) che per la minor presenza di campi di carciofo o piante spontanee interfertili con il carciofo da seme. Inoltre, è essenziale quando si opera in ambiente protetto, l'impiego di insetti pronubi come ad esempio api e "cutter bees", spesso essenziali anche in pieno campo. In genere per la produzione di seme in carciofo, la densità colturale adottata è la stessa che viene impiegata per la produzione di capolini (circa 1 pianta/m²). Per la produzione del seme ibrido, sono utilizzate linee maschio-fertili e cloni maschio-sterili con un rapporto rispettivamente di circa 1:4, a seconda della quantità e qualità del polline prodotto dal maschio-fertile. Particolare attenzione deve essere data alla sincronizzazione della fioritura della linea maschio-fertile con quella del maschio-sterile per poter ottenere buoni livelli produttivi. Un altro aspetto fondamentale per una razionale coltivazione riguarda la conduzione della coltura con particole riferimento alla nutrizione minerale delle piante e al controllo degli insetti e dei patogeni che possono arrecare seri danni alla produzione di seme sia durante

che dopo la fioritura. Infine, sia per la riproduzione del seme delle linee che degli ibridi, è necessario, durante tutto il ciclo colturale, eliminare le piante fuori-tipo che molto spesso sono presenti nelle carciofaie.

1.1.6. Stress biotici ed abiotici

Diverse sono le malattie fungine del carciofo, tra le più importanti ricordiamo: la peronospora (patogeno: *Bremia lactucae*), l'oidio (patogeno: *Leveillula taurica* f.sp. *cynarae*), la botrite (patogeno: *Botrytis cinerea*), il marciume del colletto (patogeno: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia solani*) e l'avvizzimento del carciofo (patogeno: *Verticillium dahliae* Kleb.).

Particolare importanza riveste la lotta contro l'avvizzimento del carciofo causato dal *Verticillium dahliae* [22]. In Puglia, soprattutto lungo il litorale adriatico, che si estende da Bari a Brindisi, sono stati osservati numerosissime carciofaie affette da avvizzimento [22]. Generalmente le piante colpite da questo patogeno (fig. 13), presentano uno sviluppo stentato, una taglia ridotta e una perdita generalizzata di turgore. Attualmente la lotta si basa sull'accertamento della sanità del terreno, sull'impiego di carducci derivanti da piante madri sane e sull'adozione di lunghe rotazioni con specie non suscettibili [23]. La strategia per il controllo del patogeno è soprattutto basata sul trapianto in terreno non infetto, nell'impiego di piante sane e di rotazione con specie non ospiti; l'uso di resistenze genetiche al fungo consentirebbe un controllo economico ed ecologicamente sostenibile [22].

L'inserimento di particolari geni capaci di dare tolleranza o resistenza al patogeno rappresenta uno dei metodi migliori di lotta, purtroppo però, l'inserimento di resistenze richiede tempi molto lunghi, per questo motivo, negli ultimi anni è stata studiata, presso la Facoltà di Agraria di Viterbo, la tecnica di innesto erbaceo in carciofo [65]. Dalla sperimentazione è emersa che questa tecnica, ampiamente diffusa in orticoltura per le *Solanaceae* (Pomodoro, peperone e melanzana) e le *Cucurbitaceae* (melone, cocomero e cetriolo), è utilmente applicabile anche per il carciofo propagato via "seme". Questo risultato è da ritenersi interessante in quanto impiegando piante innestate su portinnesti resistenti ai principali patogeni responsabili delle più comuni

tracheomicosi, è possibile dare una risposta immediata ai cinaricoltori che operano in zone dove tali malattie sono particolarmente aggressive.



Figura 13 - Danni causati da *Verticillium dahliae*.

La lotta contro l'oidio è legata, ancora oggi, all'impiego di prodotti endoterapici, disponibili in una vasta gamma e di efficacia notevole. I trattamenti devono essere iniziati alla comparsa delle prime macchie biancastre localizzate inizialmente soltanto sulle foglie più sviluppate (fig. 14) e proseguiti a seconda dell'andamento climatico e dello stadio vegetativo della pianta. È consigliabile non limitarsi all'impiego di un solo prodotto, ma di utilizzare in molto alternato principi attivi diversi, al fine di evitare la comparsa di quei fenomeni di resistenza che si possono verificare con i fungicidi sistemici.



Figura 14 Oidio su carciofo.

Per il controllo della peronospora, nella maggior parte dei casi, si interviene preventivamente con composti a base di rame (specialmente con poltiglia bordolese); oggi, però, si può intervenire efficacemente al momento della comparsa dei primi sintomi della malattia con prodotti antiperonosporici sistemici (propamocarb, fosetil alluminio, ecc.). Il marciume dei capolini, data l'impossibilità di intervenire sui fattori climatici (elevati valori della temperatura e del tasso di umidità relativa dell'aria) che favoriscono gli attacchi di *B. cinerea*, può essere contrastato con i soli mezzi chimici. La lotta contro i marciumi del colletto è quanto mai problematica stante l'elevata polifagia dei patogeni e la capacità dei loro sclerozi di conservarsi a lungo vitali nel terreno. Grande importanza ha comunque, al fine di contenere gli attacchi e la diffusione dei patogeni nelle carciofaie, l'applicazione di pratiche e accorgimenti colturali che consentono un regolare e vigoroso sviluppo delle piante. Bisogna pertanto evitare di forzare troppo la coltura con concimazioni eccessive e irrigazioni troppo frequenti. L'acqua, soprattutto, deve essere distribuita in modo assai razionale, in particolare nei mesi estivi, al fine di impedire un eccesso di umidità attorno alle piante. Molto utile è inoltre l'impiego di una rotazione adeguata che

eviti il ritorno sullo stesso terreno troppo frequente del carciofo o di altre piante suscettibili e l'utilizzo di materiale di propagazione sano.

Sono state isolate 24 specie virali dal carciofo, appartenenti a dieci generi e una alla famiglia *Rhabdoviridae*.

La grande diffusione delle infezioni virali in carciofo (fig. 15) è dovuta principalmente alla propagazione agamica, effettuata dai cinaricoltori, per mezzo di carducci od ovoli. Tra i virus più frequentemente riscontrati in Italia, i più dannosi sono: ArLV (virus latente del carciofo); CMV (virus del mosaico del cetriolo); BBWV (virus dell'avvizzimento della fava); BYMV (virus del mosaico giallo del fagiolo); AILV (virus italiano latente del carciofo); TSWV (virus dell'avvizzimento maculato del pomodoro).

Gran parte di essi è stata rinvenuta in Europa o in Paesi che si affacciano sul bacino del Mediterraneo. Solo in alcuni casi si tratta di virus che infettano in modo specifico il carciofo, mentre la maggioranza è patogena di un numero più o meno elevato di altre specie coltivate e spontanee. Caratteristica comune a più agenti infettivi è, invece, la frequente asintomaticità delle infezioni o, nei casi in cui è visibile una risposta sintomatologica, questa è spesso condizionata dalla presenza di più virus nella medesima pianta, da fattori ambientali, dalle tecniche colturali e dalla varietà di carciofo.



Figura 15 - Pianta di carciofo affetta da virosi.

L'attuale stato fitosanitario del germoplasma di carciofo è seriamente compromesso soprattutto da alcune infezioni virali come quella indotta dal virus latente del carciofo, ubiquitariamente presente in tutte le aree di coltivazione, dal virus latente italiano del carciofo e dal virus dell'avvizzimento maculato del pomodoro, non ugualmente diffusi in tutte le aree cinaricole. L'utilizzo di materiale vegetale risanato da virus è un valido mezzo per combattere il diffondersi di questi agenti patogeni, e comunque, pur utilizzando materiale di propagazione sano, le carciofaie non dovrebbero rimanere sullo stesso terreno per più di due anni. Materiale esente da virus può essere ottenuto grazie alla termoterapia unita alla micropropagazione ed eventualmente anche alla coltivazione "fuori-suolo" delle piante madri virus-esenti impiegate per la produzione dei carducci. Un altro metodo per ottenere materiale di propagazione sano è l'utilizzo del seme per effettuare l'impianto, visto che solo pochi virus (es. Arlv) si trasmettono per via gamica e comunque anche riguardo ai virus che si possono trasmettere con il seme, solo il 5-10% della progenie di piante infette presenta il virus [36].

Il carciofo è attaccato in Italia da un centinaio di specie di parassiti animali appartenenti a nematodi, gasteropodi, insetti e roditori.

Sulla coltura è però presente un notevole complesso di nemici naturali che contribuiscono a limitare i danni dei fitofagi. L'importanza dei singoli fitofagi dipende dall'area di coltivazione del carciofo e dalle tecniche colturali adottate. Gli insetti più dannosi, che richiedono abitualmente interventi fitoiatrici, sono gli afidi (fig. 16) e alcuni lepidotteri come la nottua del carciofo e la depressaria dei capolini, ma sulle colture anticipate possono risultare importanti anche gli attacchi di nottuidi polifagi. In alcune aree cinaricole possono essere riscontrati danni da fitofagi secondari (lepidotteri, coleotteri e ditteri) e da parte di molluschi gasteropodi e arvicole [25].



Figura 16 - Elevata presenza di afidi in cardo coltivato.

La protezione integrata del carciofo si basa su: scelte agronomiche, interventi meccanici e su l'impiego di agrofarmaci. Le rotazioni e l'espanto annuale della coltura riducono le popolazioni di fitofagi legati all'apparato radicale (per es. nematodi, larve di *Pentodon punctatus*, *Cleonis pigra*, *Gortyna xanthenes*, *Cossus cossus*). La distruzione dei capolini attaccati dalla depressaria, durante la fase di raccolta manuale e l'eliminazione della parte epigea delle piante a ciclo

pluriennale prima che le larve della nottua del carciofo raggiungano la base del rachide, possono dare un notevole contributo al controllo di questi due parassiti "chiave". Il rischio di danno da parassiti animali, che dipende dalla forzatura delle piante e dall'epoca di produzione, rende tuttavia generalmente necessario il ricorso alla lotta chimica. I principali parassiti si riscontrano soprattutto in autunno ed è in questo periodo che vengono effettuati gli interventi insetticidi e molluschiocidi, tenendo conto della scalarità della raccolta e orientandosi su prodotti specifici e a breve intervallo di sicurezza. L'impiego di mezzi di rilevamento degli adulti può dare un aiuto decisivo per stabilire la necessità e il periodo di intervento contro i lepidotteri dannosi.

Oltre agli insetti, anche i roditori possono causare danni al carciofo (fig. 17), in particolare si riscontrano gravi danni a scapito delle piante di carciofo nei piccoli appezzamenti di terreno ed in particolare quando questi sono delimitati in uno o più lati da terreno incolto, dove notoriamente le arvicole vivono e si riproducono indisturbate. Le strategie attuali di gestione della carciofaia tendono ad aumentare il rischio di danno dalle arvicole, ciò è dovuto in particolare alle poche lavorazioni effettuate quando è in atto la coltura e al sistema di irrigazione, infatti, il controllo delle infestanti con erbicidi ha ridotto notevolmente le lavorazioni del terreno così come la modalità di gestione dell'irrigazione (aspersione e goccia), in quanto non sono previsti interventi al terreno come invece richiesto in passato dall'irrigazione per infiltrazione laterale.



Figura 17 - Danni da arvicole.

Gli interventi più efficaci che si possono attuare per ridurre i danni delle arvicole sono di tipo preventivo come ad esempio: evitare nuovi impianti presso colture fortemente infestate dalle arvicole; limitare al minimo le aree incolte confinanti con la nuova carciofaia in quanto, non essendo disturbate dalle lavorazioni del terreno, sono le sedi preferite dalle arvicole; eseguire un espianto tempestivo della carciofaia a fine ciclo evitando così di lasciare il terreno incolto per molto tempo.

La particolare epoca di impianto della carciofaia, nel pieno della stagione estiva, rende questa coltura diversa dalle altre ortive da pieno campo, anche dal punto di vista della diffusione delle erbe infestanti. Generalmente le lavorazioni complementari che precedono l'impianto consentono di eliminare agevolmente le infestanti nate successivamente alla lavorazione principale del terreno. Per completare il controllo delle infestanti, normalmente si fa ricorso ad interventi chimici in pre-trapianto, nel caso si utilizzino carducci, oppure in pre-emergenza, qualora si utilizzino ovoli. In assenza del diserbo le prime infestanti che compariranno saranno le specie annuali la cui nascita è favorita, dagli interventi irrigui estivi. A questo tipo di flora seguirà quella della stagione autunno-invernale che invaderà la carciofaia all'inizio della produzione e che verrà

sostituita dalle specie che nasceranno durante la primavera e l'estate nell'anno successivo all'impianto. Intanto, anche le specie poliennali e quelle perenni avranno l'opportunità di insediarsi nella carciofaia, specialmente nelle zone del Centro-Nord dove la durata della coltura si protrae più a lungo di quella delle altre zone d'Italia. In definitiva, nel corso della vita della carciofaia si possono prevedere le tre seguenti tipologie di flora selvatica: flora estiva dell'anno di impianto e di quelli successivi; flora autunno-primaverile dell'anno di impianto e successivi; flora annuale o poliennale che si sviluppa prevalentemente negli anni successivi a quello di impianto, durante tutte le stagioni.

Nei confronti del carciofo, le erbe infestanti possono attuare una competizione che riguarda i fondamentali fattori per la crescita delle piante e quindi per: acqua, elementi nutritivi e luce. Tale competizione è comunque più sentita nelle prime fasi di accrescimento, ed è causa di decremento produttivo dovuto al minor numero di capolini per pianta e alle ridotte dimensioni degli stessi, in relazione al numero e tipo di infestanti presenti.

1.1.7. Tecnica colturale

L'impianto della carciofaia può essere effettuato tramite carducci ed ovoli prelevati direttamente dalla carciofaia in produzione, oppure attraverso piantine a radice potetta provenienti da: *vitro*, piante madri allevate "fuori-suolo", "seme" ed infine attuando la semina diretta.

La densità di impianto utilizzata varia tra le 7.500 e le 11.000 piante per ettaro in funzione della vigoria e del portamento delle cultivar utilizzate.

Nel Centro-Nord è ancora molto diffuso l'impiego dei carducci come materiale di propagazione, con epoca di impianto che va dalla primavera all'autunno, mentre al Sud e nelle Isole sono maggiormente impiegati gli ovoli.

In genere, se si utilizzano i carducci provenienti dalla scarducciatura di fine estate, l'entrata in produzione della carciofaia avviene il secondo anno di

coltivazione, mentre con gli altri materiali vegetali, come ad esempio piantine da vitro o da “seme”, l’entrata in produzione avviene il primo anno con notevoli vantaggi economici.

L’impianto effettuato con piantine provenienti da *vitro*, pur risultando più oneroso rispetto agli altri tipi di impianto maggiormente diffusi (carducci ed voli) presenta indubbi vantaggi in termini di uniformità e sanità della carciofaia, che sarà quindi in grado di offrire una produzione in capolini di elevata qualità e quantità.

Negli ultimi anni è possibile trovare sul mercato anche piantine a radice protetta ottenute facendo radicare direttamente carducci provenienti da piante madri micro propagate e risanate, coltivate “fuori-suolo”. Il materiale così ricavato è disponibile all’inizio dell’estate e normalmente viene posto a dimora nei primi giorni di agosto.

L’impiego delle piantine provviste di pane di terra, oltre a garantire un attecchimento prossimo al 100%, e quindi un’elevata uniformità della carciofaia, determina anche l’entrata in produzione della carciofaia già al primo anno di coltivazione.

Un altro metodo per l’impianto, ancora poco utilizzato in Italia, è quello della semina diretta o dell’utilizzo di piantine con pane di terra provenienti da cultivar propagabili per seme (fig. 18).



Figura 18 – Carciofaia costituita con semina diretta (California)

In entrambi i casi, la spesa per l'impianto è molto minore rispetto a tutti gli altri metodi conosciuti (carducci, ovoli, ecc.), purtroppo, molte cultivar che oggi vengono ampiamente coltivate, particolarmente apprezzate dal mercato del fresco per forma, colore, sapore del capolino e per una buona precocità produttiva, possono essere moltiplicate solo vegetativamente. Sono comunque già disponibili alcuni ibridi F_1 e alcune varietà da seme, con diverse caratteristiche interessanti sia per quanto riguarda l'uniformità della coltura che le caratteristiche produttive e qualitative del capolino. Nel 2010, è stato messo in commercio il primo ibrido F_1 di carciofo appartenente alla tipologia Romanesco (Romolo); tale ibrido, commercializzato dalla ditta sementiera "Semi Orto", è il frutto di un intensa collaborazione tra la Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia e la ditta sementiera californiana "Big Heart Seed".

Il carciofo è una specie in grado di completare il ciclo colturale sfruttando le sole acque meteoriche nella maggior parte degli areali di coltivazione italiani. Tuttavia, per fornire elevate produzioni di buona qualità, secondo un calendario di raccolta ben programmato, necessita di apporti idrici supplementari, poiché le precipitazioni non sempre sono sufficienti a soddisfare i fabbisogni idrici della coltura. La frequenza degli interventi irrigui e i volumi di adacquamento dovrebbero essere tali da garantire un accrescimento regolare della coltura, evitando l'insorgere di fenomeni di stress idrici che si ripercuotono

negativamente sulla precocità e sulla pezzatura dei capolini. Inoltre, stress idrici durante il ciclo colturale potrebbero causare effetti negativi anche sulla formazione delle gemme dei rizomi, con ripercussioni deleterie sulla coltura dell'anno seguente. Il fabbisogno idrico del carciofo, calcolato misurando la quantità di acqua persa per evapotraspirazione in condizioni di disponibilità idrica ottimale (ETc), può variare considerevolmente in relazione alle diverse tipologie di coltivazione. In particolare, la coltura forzata con risveglio anticipato (giugno) e quella prepagata per "seme", normalmente trapiantata in luglio, presentano fabbisogni idrici più elevati di quella risvegliata tardivamente (agosto). Infatti, i fabbisogni idrici sono influenzati sia dall'ambiente, sia dallo stadio fenologico della coltura.

La pianta di carciofo presenta ritmi di accrescimento intensi nell'arco del ciclo colturale, eccezione fatta per una più o meno breve stasi vegetativa durante il periodo gennaio-febbraio. Nelle aree dove le temperature invernali diurne non scendono al di sotto della soglia termica cardinale del carciofo, che è 8-9 °C, i ritmi di accrescimento sono, invece, pressoché costanti, registrando punte di particolare intensità nei mesi autunnali (varietà autunnali) e tra febbraio e aprile (varietà primaverili). Per poter sostenere questi ritmi di accrescimento e raggiungere un buon livello produttivo, sia sotto l'aspetto quantitativo sia qualitativo, è necessaria, pertanto, un'idonea concimazione, opportunamente integrata dall'irrigazione. Una insufficiente disponibilità di elementi nutritivi può causare, infatti, una riduzione dell'accrescimento e una produzione di capolini piccoli, con brattee divergenti e stelo florale corto ed esile. Un corretto programma di concimazione deve, ovviamente, assecondare i ritmi di asportazione degli elementi nutritivi della coltura e tenere conto delle caratteristiche del terreno, della sua dotazione in elementi fertilizzanti e sostanza organica, nonché delle condizioni meteoriche; inoltre, è necessario tenere presente la precessione colturale.

1.1.8. Raccolta

Il ciclo ontogenetico del carciofo si svolge attraverso diverse fasi di differente durata in relazione all'andamento climatico e all'epoca del risveglio nella carciofaia. In particolare per le cultivar appartenenti alle tipologie "Catanese e Brindisino" le carciofaie possono essere risvegliate sin dalla seconda metà di giugno per cui in queste carciofaie il capolino sarà pronto dopo quattro-cinque mesi (ottobre, novembre). Per le cultivar della tipologia "Romanesco" trapiantate da fine luglio alla fine di agosto, i capolini sono pronti per la raccolta dopo circa sette-otto mesi (febbraio-aprile) dal risveglio vegetativo.



Figura 19 – Raccolta agevolata dei capolini (Francia)

La raccolta del carciofo è di tipo scalare, sia per le cultivar precoci, con oltre 20 interventi effettuati tra ottobre e maggio, sia per quelle tardive, con circa 16 interventi compresi nel periodo marzo-maggio (fig. 19). Tale operazione viene effettuata prima dell'indurimento delle brattee e della comparsa della peluria sul ricettacolo florale. I capolini devono essere tagliati con una frazione di peduncolo la cui lunghezza varia in base alla destinazione del prodotto. Quelli destinati all'esportazione devono avere un peduncolo lungo al massimo 10 cm e

senza foglie; quelli per l'industria conserviera devono presentarsi senza peduncolo. I carciofi commercializzati sui mercati interni vengono venduti alla rinfusa o legati a mazzi con stelo e foglie che comprendono un numero variabile di capolini.

È stato dimostrato che il taglio del capolino con 5 cm di peduncolo consente di aumentare la produzione per pianta in quanto vengono lasciate tutte le foglie più giovani e quindi più attive. Nelle cultivar a produzione autunnale, ritardando la raccolta del capolino principale, quelli di ordine successivo si accrescono più lentamente e quindi si posticipa la raccolta. Pertanto conviene anticipare la raccolta del capolino principale in quanto viene favorita la ramificazione dell'asse fiorale, determinando un aumento del numero dei capolini. L'incidenza delle operazioni di raccolta sul costo di produzione sono di circa il 40%.

1.1.9. Conservazione

Il carciofo viene considerato un ortaggio deperibile; infatti, in condizioni normali ed in funzione della lunghezza dei gambi (i gambi corti determinano la riduzione del tempo di conservazione) e della presenza di foglie, può essere conservato per non più di due settimane. Ai brevi tempi di conservazione concorrono anche le modalità di: raccolta, cernita, calibratura, imballaggio e trasporto. Se sui capolini sono presenti ammaccature o lesioni, su cui possono insediarsi parassiti fungini, la loro alterazione risulta molto rapida. L'attività respiratoria dei capolini è elevata, ciò comporta la necessità di abbassare la temperatura del prodotto, subito dopo la raccolta nel tempo più breve possibile, mediante pre-refrigerazione a 3-5 °C. Allo scopo, la tecnica maggiormente utilizzata è l'idrorefrigerazione con la quale, in funzione della dimensione dei capolini (più sono grossi più lunghi saranno i tempi), in circa 30 minuti si porta il prodotto dalla temperatura ambiente a 4° C; segue lo stoccaggio in celle dove

vengono mantenuti livelli di umidità relativa pari al 90-95% e della temperatura compresi tra -1 e 0 °C che consentirà un tempo di conservazione di 20-30 giorni.

1.1.10. Commercializzazione

Come per altre orticole, la commercializzazione del carciofo è regolata da normative generali, che riguardano il capolino, che deve presentarsi fresco, intero, sano e pulito, e come precedentemente riportato con stelo di lunghezza non superiore a 10 cm; da normative particolari, che classificano il prodotto nelle categorie extra, I e II qualità; e da normative relative al confezionamento (etichettatura, marchio nazionale di controllo, caratteristiche commerciali).

L'attuale classificazione varietale distingue:

- cultivar a produzione autunnale, dette anche rifioranti o precoci, i cui tempi di produzione procedono dall'autunno alla primavera e di cui sono tipici rappresentanti il "Violetto di Sicilia" e lo "Spinoso Sardo";
- cultivar a produzione primaverile, non rifioranti o tardive, con ciclo produttivo da febbraio a giugno, nell'ambito delle quali il "Romanesco" rappresenta l'esempio più significativo, con una diffusione concentrata nel Lazio ed in Campania.

La destinazione prevalente del carciofo italiano è il mercato fresco.

Il prodotto viene spesso destinato a mercati lontani dalla zona di produzione; risulta quindi fondamentale il condizionamento tra 3 e 5 °C ed il confezionamento. Vengono allo scopo utilizzati cartoni incerati e film di polietilene impermeabili all'acqua (ma permeabili all'ossigeno e all'anidride carbonica) in grado di evitare eccessive perdite di tenore idrico e conseguentemente di peso.

Nei mercati italiani i carciofi vengono ancora prevalentemente presentati in fasci di 25 capolini con peduncolo lungo 30 cm e diverse foglie, oppure in cassette. I sintomi di deperimento cui sono soggetti i carciofi (a prescindere da

quelli di natura patologica) si manifestano con presenza sulle brattee di macchie scure che tendono ad allargarsi, colorazione violetta delle brattee più interne con aumento della fibrosità dei capolini e sviluppo del complesso florale.

Merceologicamente i capolini vengono classificati in tre categorie o classi:

- extra, in cui le brattee centrali si presentano perfettamente embricate e serrate senza tracce di lignificazione dei vasi vascolari;
- I categoria, con capolini che possono presentare lievi difetti riconducibili a eventi climatici negativi (gelo) o leggeri traumi;
- II categoria, in cui i difetti che interessano i capolini sono gli stessi, ma più marcati, di quelli presenti su quelli appartenenti alla I categoria, senza che ne venga pregiudicata la conservazione e la commerciabilità.

Gli imballaggi, in cui il prodotto deve essere protetto sia sul fondo sia sulle fiancate, devono contenere capolini della stessa varietà, del medesimo calibro e della stessa categoria.

Esternamente i contenitori devono presentare il marchio di controllo e di identificazione indelebile e leggibile, con le indicazioni relative alla classificazione e al calibro.

Negli stand dei mercati ortofrutticoli, e soprattutto nei supermercati, vicino al prodotto intero, sfuso e grezzo, si possono trovare capolini mondati e calibrati, oppure cuori di carciofo di pronto consumo, confezionati in buste o vaschette, mantenuti in condizioni refrigerate (tra 0 e 3 °C) che rappresentano prodotti della IV gamma.

1.1.11. Trasformazione

La trasformazione industriale potrebbe rappresentare un prezioso sbocco alla produzione italiana fornendo, soprattutto all'industria meridionale, caratterizzata da forte stagionalità, un valido strumento per prolungare nel periodo invernale il ciclo produttivo della coltura. Attualmente l'industria è

condizionata, nel reperimento della materia prima, dal suo costo elevato e dalla scarsa rispondenza qualitativa che questa offre; l'approvvigionamento risulta limitato alle code di produzione e riguarda soprattutto i tipi "catanesi" a capolino cilindrico. Nonostante vengano stipulati contratti pre-campagna, all'industria sono destinate le eccedenze del prodotto avviato al mercato fresco che solitamente sono caratterizzate da scarsa qualità (capolini poco uniformi, fibrosi, con presenza di "cuore violaceo") in quanto rappresentano la rimanenza delle operazioni di preselezione cui è sottoposto il prodotto per il mercato fresco.

L'industria conserviera trasforma i "cuori" dei carciofi in sott'olio o al naturale, utilizzando prevalentemente prodotto pre-lavorato.

Dopo la raccolta il prodotto destinato all'industria viene mondato (eliminazione delle brattee esterne), tornito (operazione che interessa il ricettacolo) e spuntato manualmente o meccanicamente presso appositi centri di raccolta e lavorazione. Da questi i semilavorati vengono spediti all'industria di trasformazione, in cisterne o fusti, in cui la conservazione dei capolini è affidata all'immersione in soluzioni acide.

I carciofi, a seconda delle richieste da parte dell'industria, possono essere mantenuti interi con circa 6 cm di gambo, per secondi piatti e contorni; oppure tagliati a metà, a quarti o a spicchi, per la preparazione di primi piatti.

1.1.12. Aspetti nutrizionali

La presenza di composti bioattivi in frutta e ortaggi è da tempo considerata di importanza nutrizionale significativa nella prevenzione del cancro, delle malattie cardiovascolari, del diabete e delle malattie infiammatorie. Per questa ragione, tali sostanze sono considerate composti ad azione farmacologica e vengono spesso indicati con il termine nutraceutici, cioè componenti di alimenti in grado di fornire importanti benefici per la salute dell'uomo. Fanno parte di questa categoria di composti, molecole appartenenti a diverse classi, quali polifenoli

(flavoni, flavonoli, antocianine, acido caffeico e suoi derivati, isoflavoni, catechine), carotenoidi (licopene, β -carotene), tocoferoli (vitamina E), acido ascorbico, solfuri allilici, glucosinolati, frutto-oligosaccaridi (FOS), inulina. La maggior parte di questi composti possiede un'elevata capacità antiossidante, mentre FOS e inulina hanno capacità prebiotiche.

Al carciofo si attribuiscono diverse attività farmacologiche; ricordiamo quelle antiossidanti, epatoprotettive, coleretiche, colagoghe e soprattutto antilipidemiche. I principali responsabili di queste azioni biologiche sono gli acidi dicaffeilchinici, i lattoni sesquiterpenici ed i flavonoidi come la luteolina. Per quanto riguarda le proprietà ipocolesterolemizzanti, è stato dimostrato che il carciofo può diminuire i livelli dei lipidi ematici attraverso molteplici meccanismi. Infatti è stato osservato che preparati a base di carciofo possono inibire l'ossidazione delle LDL, favorire l'escrezione del colesterolo grazie all'azione colagoga ed inibire la biosintesi del colesterolo attraverso molteplici meccanismi, inclusi l'inibizione dell'enzima HMG CoA riduttasi e l'inibizione dell'incorporazione dell'acetato. La cinarina è uno dei principali componenti dell'attività antilipidemiche; infatti questo composto è in grado di ridurre i livelli di colesterolo nei ratti; allo stesso modo, si ritengono importanti gli effetti della luteolina, composto in grado di inibire la sintesi del colesterolo.

In questi ultimi 10 anni, l'estratto acquoso delle foglie di carciofo, ha acquistato in Germania un riconosciuto valore medico: è stato ufficialmente certificato come sicuro ed efficace, se ottenuto attraverso un processo conforme ai regolamenti farmaceutici internazionali; l'estratto stesso è usato come supplemento dietetico indicato per il trattamento dell'iperlipidemia. Inoltre le Farmacopee hanno approvato il suo uso come epatostimolante e stimolante dell'appetito, specialmente nei bambini.

Un'altra molecola importante accumulata nei tessuti del carciofo è l'inulina, carboidrato presente nei vacuoli ed implicato nella regolazione della microflora intestinale e nell'assorbimento minerale. Alcune ricerche hanno dimostrato

come tali molecole funzionali siano presenti nel capolino, ad uso alimentare, nelle radici, ma anche nelle foglie e nelle altre parti della pianta che rappresentano circa l'80% della biomassa totale prodotta. Per questo il carciofo riveste un grande interesse anche per la produzione di estratti fitoterapici a base di biomolecole (ad esempio inulina e fenoli), utili come additivi alimentari o come nutraceutici. Tali biomolecole sono state riscontrate anche su cardo dove in alcuni genotipi sono stati osservati contenuti in polifenoli superiori a quelli presenti nelle cultivar di carciofo analizzate. I fattori che possono modificare il contenuto endogeno di biomolecole sono stati parzialmente indagati. La variabilità genetica, estremamente ampia in Italia per la presenza di molte varietà commerciali ed ecotipi locali, è stata correlata ad una diversa composizione chimica della frazione polifenolica; questo implica che genotipi diversi possono avere diverse proprietà nutraceutiche e farmacologiche. Attraverso studi di bioinformatica è stato possibile identificare e sequenziare alcuni geni strutturali e regolatori coinvolti nella biosintesi di composti polifenolici (luteolina, cinarina, acido clorogenico) in carciofo [59]. Anche lo stadio fisiologico della pianta e l'epoca di raccolta possono influire ad esempio sul contenuto di inulina. La stessa tecnica di propagazione del carciofo, per carducci o in vitro, può variare significativamente il contenuto in cinaropicrina, un sesquiterpene che contribuisce alla qualità organolettica, essendo responsabile del tipico sapore amaro, e nutrizionale del prodotto fresco.

In virtù di tutte le proprietà benefiche dei suoi costituenti, il carciofo potrebbe quindi essere candidato a ricevere l'etichetta di alimento funzionale naturale, cioè in grado di espletare un effetto benefico sulla salute umana, mantenere uno stato di benessere e/o essere capace di prevenire l'insorgenza di determinate patologie.

Molte piante accumulano lipidi nei semi o nei frutti, come materiale di riserva altamente energetico. Questi grassi sono utilizzabili dall'uomo per usi alimentari, come olio o margarina, e industriali (saponi, lubrificanti, solventi ecc.).

I semi di certe oleifere, come l'arachide, il girasole, il sesamo e il papavero, trovano anche impiego alimentare sia diretto sia come prodotti per pasticceria.

Fonti importanti di lipidi vegetali sono anche quelle colture che danno oli e grassi come produzione secondaria, accessoria a una diversa produzione principale: cotone, lino da fibra, mais, soia (quest'ultima infatti, è una proteaginosa, prima che un oleifera). Tutte le colture oleifere danno come sottoprodotti il pannello o la farina. Il primo è ciò che resta dopo aver estratto l'olio per spremitura meccanica; la seconda è il residuo dell'estrazione dell'olio con solventi.

Questi sottoprodotti sono preziosi alimenti concentrati per il bestiame, eccettuati quelli che contengono principi tossici (ricino) e che quindi trovano impiego solo come fertilizzanti per il terreno.

Nella produzione degli oli vegetali grande importanza ha la qualità, la quale dipende in larga misura dalla composizione chimica della sostanza grassa (tab. 3 e 4).

Per gli oli grande importanza ha il contenuto percentuale di acidi grassi saturi e insaturi: tanto migliore è la qualità quanto più abbondanti sono gli acidi grassi mono- e diinsaturi (ac. oleico e linoleico).

Per certi usi industriali altre sono le caratteristiche di pregio degli oli: ad esempio per le vernici è importante la siccatività, cioè la prerogativa di certi oli (di lino, papavero, canapa) di diventare solidi per effetto dell'ossigeno atmosferico; la viscosità alle alte temperature è apprezzata in oli lubrificanti (ricino); l'alto contenuto dell'acido erucico è una qualità desiderata in certi oli per uso industriale [14].

Tabella 3 - Profilo degli acidi grassi (%) dell'olio di semi di colza, canapa, cardo e cartamo.

Acidi grassi		Colza	Canapa	Girasole	Cardo	Cartamo
Acido miristico	(C14:0)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Acido palmitico	(C16:0)	4,4	6,5	4,2	10,9	6,5
Acido palmitoleico	(C16:1)	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
Acido stearico	(C18:0)	1,7	2,5	5,2	3,3	2,3
Acido oleico	(C18:1)	64,3	12,7	79,7	23,1	11,3
Acido linoleico	(C18:2)	17,3	57,2	8,5	61,2	78,6
Acido linolenico	(C18:3)	9,5	15,4	1,0	1,0	1,0
Acido arachidico	(C20:0)	0,5	3,5	0,4	0,4	0,4
Acido eicosenoico	(C20:1)	1,2	-	0,2	0,1	0,2
Acido beenico	(C22:0)	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
Acido erucico	(C22:1)	0,1	-	-	-	-
Acido lignocericico	(C24:0)	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1
n-6/n-3		1,8	3,7	8,5	61,2	78,6

Fonte dati: I.S. Carvalho et al., 2006.

Tabella 4 - Caratterizzazione chimico fisica dell'olio di semi di carciofo.

Parametri	Valori
Contenuto in olio (%)	20,5 ± 1
Acidità libera (% oleico)	11,3 ± 0,1
Indice di acidità (mg/g)	22,4 ± 0,1
Frazione saponificabile (mg/g)	182,9 ± 0,3
Indice di iodio (g/100 g)	108,4 ± 0,6
Massa molecolare media	306,2 ± 0,7
Frazione insaponificabile (%)	0,9 ± 0,2
Indice di rifrazione (25°C)	1,4682
Fonte dati: Miceli A., De Leo P. (1996).	

1.2. Genetica e miglioramento genetico

1.2.1 Controllo dell'impollinazione

Il progresso ottenuto grazie al miglioramento genetico di piante e animali è basato essenzialmente sul cambiamento del naturale sistema di incrocio delle specie [Lewis, 1956].

A causa del grande utilizzo degli ibridi F_1 in molte colture agrarie sia allogame che autogame, dovuta essenzialmente alla loro maggiore produttività, unita spesso anche a un maggior vigore della pianta e ad una migliore risposta contro i patogeni, da molti anni si dà sempre più importanza allo studio del sistema di riproduzione delle specie. Questo ha portato ad identificare diversi meccanismi riproduttivi che cambiano a seconda della specie, ed anche all'interno di una stessa specie come ad esempio l'incompatibilità e la maschio-sterilità.

Uno dei principali aspetti da prendere in considerazione prima di formulare una strategia di miglioramento genetico vegetale, riguarda il sistema di unione della specie da migliorare che a seconda dei casi, può essere prevalentemente autogama o allogama. Come riportato in bibliografia [42], l'autogamia è quasi sempre collegata alla cleistogamia (impollinazione e fecondazione hanno luogo quando il fiore è ancora chiuso) o meccanismi simili. Ad esempio, nel fagiolo e nel pisello le antere deiscono prima che il fiore si apra, e quando ciò accade il tubo pollinico si è già sviluppato; ciò determina un notevole grado di autogamia. Un meccanismo analogo si ha anche per il cece, lenticchia, lupino, veccia, arachide e in genere per tutte le leguminose a fiore grosso. Nel peperone e nella melanzana il peduncolo florale si incurva verso il basso prima e durante l'antesi cosicché i fiori vengono a trovarsi rivolti verso il suolo. Quando le antere deiscono il polline raggiunge lo stigma per semplice gravità; talora si incurva anche lo stilo portando lo stigma a diretto contatto con le antere cariche di

polline. Nel pomodoro l'impollinazione è successiva all'apertura dei fiori, ma gli stami formano un cono intorno allo stigma per cui, quando le antere deiscono, il polline che fuoriesce da una fenditura interna, si trasferisce direttamente su di esso. Nel pomodoro lo stilo può avere una lunghezza variabile per cui, se esso oltrepassa il cono delle antere (stigma exerto), può verificarsi una quota, anche notevole, di interincrocio. Tutti questi meccanismi, presenti nelle specie prevalentemente autogame, portano all'autoimpollinazione e quindi sono nettamente in contrasto a ciò che si verifica nelle specie prevalentemente allogame dove, invece, è favorito l'incrocio. A questo riguardo il meccanismo più efficiente per favorire l'incrocio nelle allogame è il dioicismo che prevede la presenza di fiori maschili e femminili in piante diverse (asparago, spinacio, canapa, palma da dattero ecc.). Il sistema alternativo al dioicismo è il monoicismo nel quale una stessa pianta produce sia gameti maschili che femminili. Le piante monoiche possono avere i due sessi sullo stesso fiore (fiori ermafroditi) o in fiori separati (fiori unisessuali). I fiori unisessuali, specie quando riuniti in infiorescenze separate, favoriscono l'incrocio (es. il mais). Adattamenti volti a favorire l'impollinazione anemofila o entomofila, e di conseguenza l'incrocio, sono presenti anche nei fiori ermafroditi. Ci sono particolari meccanismi genetici capaci di controllare la fecondazione. Tra questi sistemi si può ricordare la dicogamia che è il fenomeno per il quale antere e stigmi maturano in tempi diversi; se le antere maturano prima degli stigmi si ha proterandria come è presente nel carciofo, nel caso opposto si ha proteroginia. È stato anche osservato in numerose specie allogame che quando su uno stigma arriva auto o allopolline si determina una sorta di competizione tra i tubetti pollinici nella corsa per il raggiungimento del sacco embrionale e si è visto che in tale competizione ha la meglio l'allopolline rispetto all'autopolline. Questo fatto limita molto la possibilità di avere autofecondazione e quindi favorisce l'incrocio. Comunque i meccanismi genetici più potenti per ottenere l'incrocio, sono quelli che determinano il dioicismo, l'incompatibilità e la maschio-sterilità.

1.2.2 Incompatibilità

Si ha incompatibilità quando il polline e gli ovuli sono funzionali ma si ha la mancata produzione di seme per ostacoli fisiologici o morfologici.

L'auto-incompatibilità delle piante superiori è stata definita come "l'incapacità di una pianta fertile, ermafrodita, che si riproduce per seme, di dare origine a zigoti a seguito dell'autofecondazione". Il sistema agisce anche tra piante differenti che presentano però lo stesso fenotipo per l'incompatibilità. Le reazioni di incompatibilità sembrano essere processi biochimici controllati geneticamente in modo piuttosto semplice, che possono operare in qualsiasi momento tra l'impollinazione e la fecondazione.

Nel costringere le piante all'impollinazione incrociata, l'incompatibilità può essere tanto importante quanto il dioicismo, ma presenta su queste il vantaggio che tutte producono semi e possono contribuire alla propagazione della specie. La barriera fisiologica che si trova alla base dell'espressione dell'incompatibilità è regolata da particolari geni indicati come geni S; il granello pollinico e il pistillo danno luogo alla reazione di incompatibilità, quando sono entrambi portatori degli stessi alleli S.

1.2.3 Maschio-sterilità

La maschio-sterilità è causata dalla mancata produzione di gameti maschili o dalla produzione di gameti maschili non funzionali. Nelle popolazioni naturali la maschio-sterilità, a differenza dell'incompatibilità, non è un meccanismo comune. Sia nelle popolazioni autogame che allogame le piante maschio-sterili compaiono solo sporadicamente in conseguenza di mutazioni che interessano uno dei geni che controllano i diversi passaggi della microsporogenesi e della microgametogenesi. Questi mutanti sono interessanti ed utili al miglioramento

genetico vegetale perché costituiscono dei mezzi per emascolare geneticamente le piante.

L'uso della maschio-sterilità consente di semplificare e in alcuni casi, come in carciofo dove la presenza di infiorescenze composte da numerosi e piccoli fiori ermafroditi, rende possibile la produzione commerciale di seme ibrido.

La maschio-sterilità è controllata da meccanismi genetici, citoplasmatici e genetico-citoplasmatici.

Ci sono molte classificazioni riguardanti la maschio-sterilità ma la più usata è quella proposta da Kaul nel 1988 (fig. 20) perché include oltre alla maschio-sterilità di origine genetica, controllata da geni nucleari da soli o in combinazione con geni citoplasmatici, anche quella non genetica, causata da stress fisiologici, da agenti chimici e fisici e da fattori ambientali.

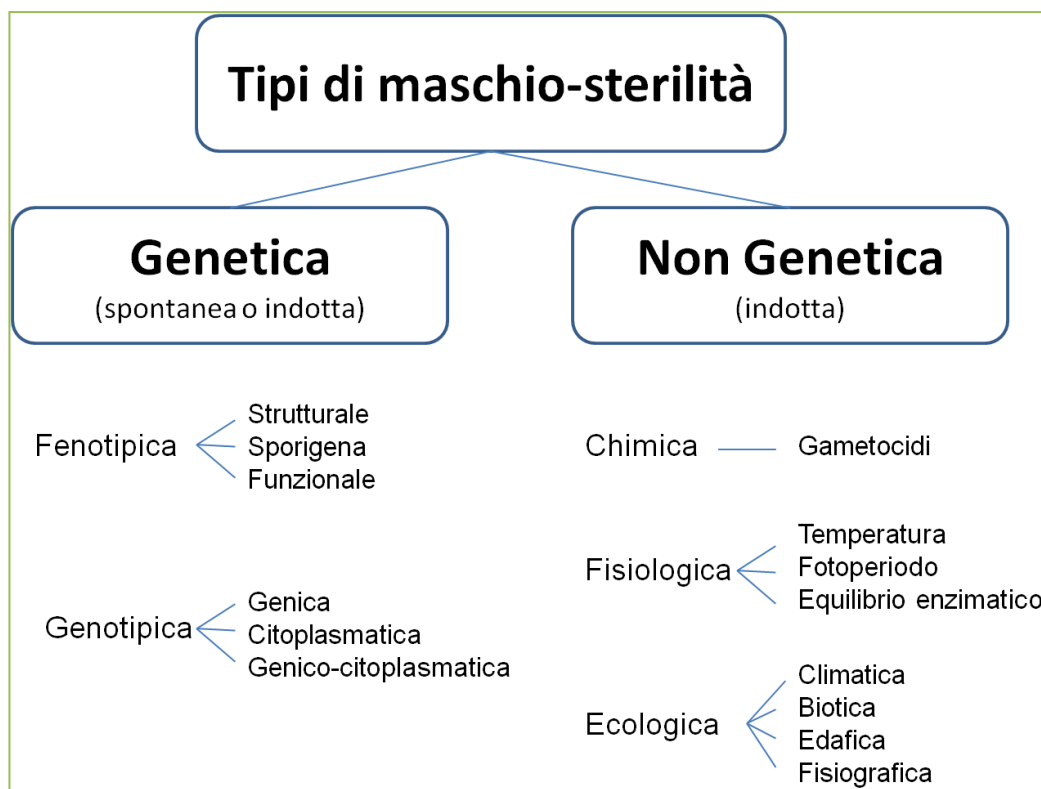


Figura 20 - Classificazione generale della maschio-sterilità (Kaul, 1988).

La maschio-sterilità genetica di tipo fenotipica può essere divisa in:

- strutturale, quando ci sono anomalie nello sviluppo dei primordi staminali. In genere gli stami appaiono poco sviluppati, deformati e privi di tessuto microsporigeno oppure trasformati in organi florali o completamente assenti;
- sporigena, quando il gene della maschio-sterilità determina il blocco della microsporogenesi o della microgametogenesi, gli stami sono evidenti ma il loro polline è completamente assente o scarso e non vitale;
- funzionale, quando la formazione del polline avviene normalmente ma la fecondazione è impedita dalla mancata deiscenza delle antere, o dall'incapacità del polline di staccarsi dalla parete della teca. In altri casi la fecondazione può essere impedita dalla non corretta formazione di esina, dalla sua completa assenza sulla parete del granulo pollinico oppure da una separazione spaziale tra antere e stigma.

La maschio-sterilità genetica, come quella riscontrata in carciofo [40], dipende in genere da uno o due geni recessivi, ed è stata trovata in molte specie vegetali di interesse agrario (es.: pomodoro, peperone, melanzana). Quando la maschio-sterilità è di tipo genetico ed è dovuta ad un singolo gene recessivo, le piante maschio-sterili ($ms\ ms$) si conservano mediante incrocio con piante maschio-fertili eterozigoti ($M_s\ ms$). Metà della progenie risulterà sterile ($ms\ ms$), e metà fertile eterozigote ($M_s\ ms$) (fig. 21).

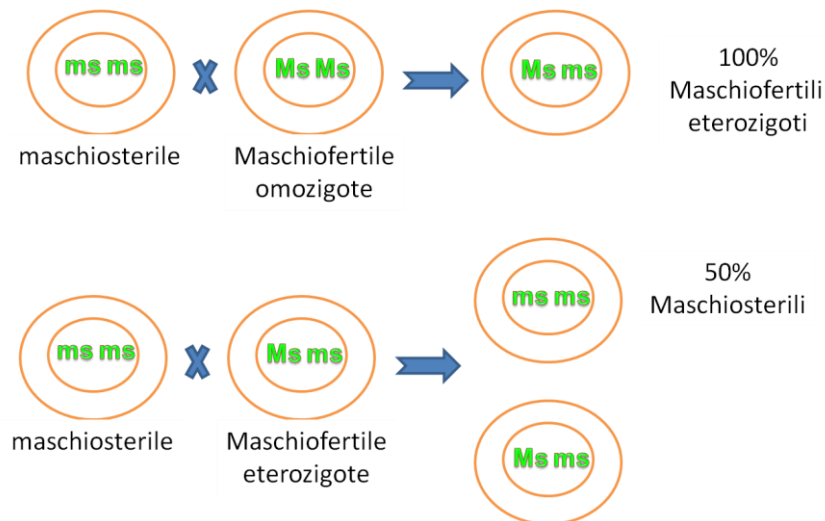


Figura 21 - Maschio-sterilità genetica.

La maschio-sterilità citoplasmatica, contrariamente a quella genetica, è determinata da geni citoplasmatici (s) indipendentemente dai geni nucleari. Di conseguenza in una specie vegetale che presenta maschio-sterilità citoplasmatica vi sono due tipi di citoplasma: fertile (N) e sterile (S). In conseguenza di ciò, tutte le piante che derivano da una pianta con geni citoplasmatici di tipo S saranno maschio-sterili, mentre tutte quelle che derivano da piante con citoplasma N saranno fertili (fig. 22).

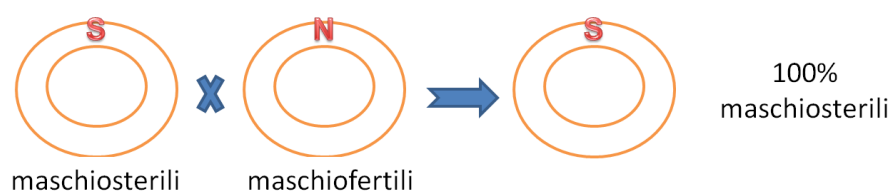


Figura 22 - Maschio-sterilità citoplasmatica. Le lettere nei cerchi esterni rappresentano il fattore citoplasmatico coinvolto nell'espressione del carattere (S = maschio-sterile; N = normale).

La maschio-sterilità di tipo genetico-citoplasmatico è il risultato dell'azione contemporanea di geni citoplasmatici e di geni nucleari. In questo caso, le progenie di piante maschio-sterili, non sono necessariamente sterili, ma possono risultare fertili quando vengono usati particolari impollinatori. I genitori maschili capaci di dare progenie maschio-fertili sono dotati di geni che permettono la

produzione di polline fertile su piante con citoplasma maschio-sterile. La maschio-sterilità citoplasmatica viene pertanto convertita in maschio-sterilità genetico citoplasmatica con la scoperta di geni ristoratori (R). Le progenie di piante maschio-sterili citoplasmatiche (rr), possono essere di tipo differente a seconda degli alleli presenti al locus R del genitore maschile. Tale genitore può avere costituzione genetica rr se possiede citoplasma normale (N) ma deve essere per forza Rr o RR in presenza di citoplasma maschio-sterile S.

Dall'incrocio tra una pianta maschio-sterile e una maschio-fertile si ottengono piante figlie dotate tutte di citoplasma maschio-sterile perché il citoplasma è trasmesso dalla madre. Le piante figlie risultano quindi:

- tutte sterili, se il genitore maschile non era dotato di geni ristoratori;
- fertili per il 100%, se il genitore maschile era omozigote per il gene ristoratore;
- sterili per il 50%, se il genitore maschile era eterozigote per il gene ristoratore (fig. 23).

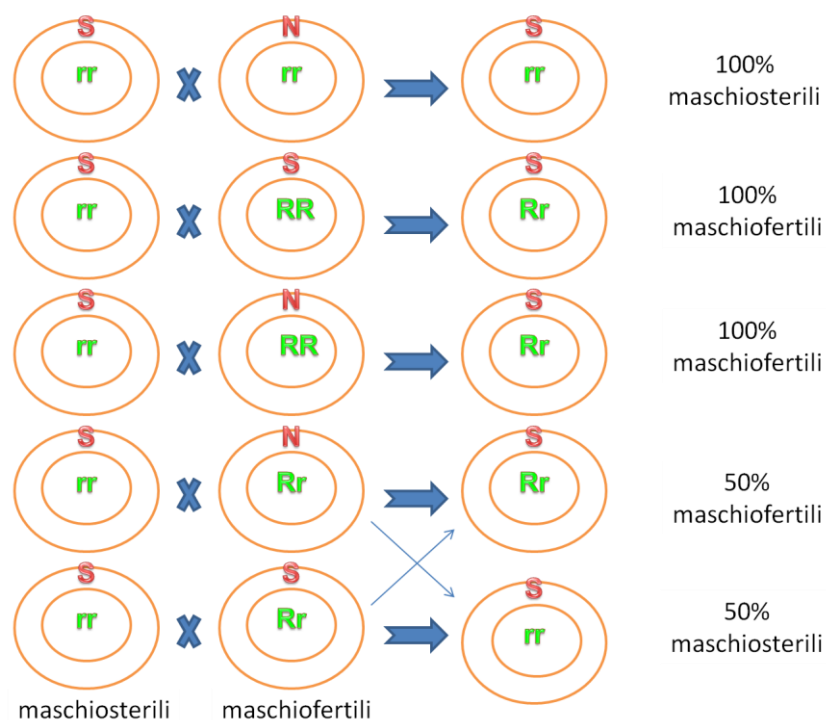


Figura 23 - Maschio-sterilità genetico citoplasmatica.

1.2.4 Eterosi

Il termine eterosi indica l'esplosione di vigore che si osserva nelle progenie di particolari incroci tra linee *inbred* o pure, e che si manifesta come superiorità del valore fenotipico dei genotipi ibridi rispetto a quello dei loro genotipi omozigoti parentali. Il fenomeno, descritto anche come vigore ibrido ed evidente soprattutto nelle specie allogame, può essere considerato l'opposto del deterioramento di vigore che accompagna l'autofecondazione o l'incrocio tra individui imparentati (depressione da *inbreeding*). In generale, l'eterosi si manifesta non solo come maggiore vigore vegetativo e riproduttivo (lussureggiamento) dell'ibrido rispetto alle linee parentali ma anche come maggiore velocità di sviluppo, quantità di biomassa, qualità del prodotto, resistenza ad agenti biotici e stress abiotici, robustezza della pianta o qualsiasi altra caratteristica agronomicamente utile. Il grado di eterosi è funzione dei genotipi delle linee impiegate nell'incrocio. Per i caratteri quantitativi, l'eterosi (H) è misurata come differenza tra la media della progenie F_1 e la media delle due linee parentali (P).

$$H = \bar{F}_1 - \bar{P}$$

Il grado di eterosi varia in relazione alla specie e al suo sistema riproduttivo.

Lo sfruttamento dell'eterosi in agricoltura è stato uno dei più grandi successi del miglioramento genetico vegetale, specie importanti come: mais, pomodoro, girasole, sorgo e barbabietola, sono attualmente coltivate nei Paesi occidentali quasi esclusivamente come varietà ibride [4].

1.2.5 Costituzione di varietà (linee, cloni, ibridi F_1)

La scelta del metodo e dello schema di selezione per la costituzione varietale dipende fortemente dal sistema riproduttivo della specie, dalla struttura

genetica delle popolazioni naturali nonché dal tipo di varietà che si vuole ottenere. Tale scelta, nelle specie autogame, come in quelle allogame, dipende dalle capacità, dalla fantasia e dalla creatività del miglioratore genetico vegetale che deve tener conto degli obiettivi da raggiungere. I metodi e gli schemi di miglioramento genetico che vengono utilizzati nelle allogame, sono generalmente più numerosi e complessi rispetto a quelle delle autogame. Nelle specie autogame, infatti, le singole piante delle popolazioni naturali e delle varietà locali tendono ad essere omozigoti e quindi un genotipo è riprodotto fedelmente nella progenie (linea pura), per cui un solo genotipo può dare origine ad una varietà commerciale. Nelle specie allogame, invece, un singolo genotipo, a meno che non si tratti di una specie a propagazione vegetativa come il carciofo, ha scarso valore ai fini della selezione, in quanto la sua progenie sarà completamente diversa, eterogenea e meno vigorosa rispetto alla pianta madre.

Shull ed East, nel 1908 pubblicarono i risultati dei primi lavori sperimentali che indicavano la possibilità concreta di ottenere le varietà ibride in mais. Quando Shull iniziò a fare incroci tra le sue linee *inbred* constatò che il grado con cui il vigore e la produttività venivano ripristinati nell'incrocio dipendeva dall'origine delle linee parentali. Tuttavia, le varietà ibride non trovarono immediata diffusione sia per l'elevato costo del seme ibrido che per il modesto incremento di produttività rispetto alle popolazioni di partenza. L'elevato costo del seme era principalmente dovuto alla scarsa produzione di seme ibrido da parte della linea portaseme (maschio-sterile) e alla scarsa produzione di polline da parte della linea impollinante, che costringeva a seminare a file alternate le due linee *inbred* nel campo di produzione dell'ibrido. L'effetto eterotico non era invece così elevato da compensare i costi di produzione del seme, in quanto era difficile selezionare due linee *inbred* con elevata attitudine alla combinazione specifica. Il seme ibrido divenne conveniente rispetto a quello delle varietà ottenute per selezione massale soltanto dopo che Jones nel 1918 propose la costituzione degli ibridi doppi o a quattro vie $[(A \times B) \times (C \times D)]$, dove ciascuna lettera

dell'alfabeto indica una diversa linea *inbred*. In realtà in questo caso il seme ibrido non è da considerarsi un vero e proprio ibrido F_1 perché ottenuto non da due linee *inbred* ma dall'incrocio di due ibridi semplici $[(A \times B) \times (C \times D)]$. Conseguentemente sia la pianta portaseme che quella impollinante, saranno caratterizzate da un elevato vigore vegetativo; pertanto, come risposta si otterrà un incremento della produzione di seme ibrido con ripercussioni positive sul costo del seme. Successivamente, potendo disporre di linee *inbred* sempre più produttive, sono stati costituiti dapprima ibridi a tre vie $(A \times B) \times C$, poi ibridi basati su linee sorelle $(A \times A^1) \times (B \times B^1)$ e successivamente ibridi semplici o a due vie $(A \times B)$. È evidente che gli ibridi doppi hanno un costo del seme più basso e per la loro più larga base genetica si adattano a più ampi comprensori, ma sono meno uniformi e produttivi rispetto agli ibridi semplici. Gli ibridi a tre vie hanno caratteristiche intermedie tra gli ibridi semplici e gli ibridi doppi [4].

A differenza di altre specie vegetali come ad esempio il mais, il frumento ed il pomodoro, il miglioramento genetico del carciofo ha una storia piuttosto breve dal momento che le conoscenze sulla biologia fiorale sono state acquisite e sviluppate solo da una trentina di anni e, a livello mondiale, sono ancora pochi gli studi e i risultati sinora condotti in tale settore. Molte difficoltà sono legate all'allogamia e proterandria del fiore.

In Italia, la costituzione varietale del carciofo è stata per lo più limitata alla selezione di piante effettuata nell'ambito di popolazioni ed ecotipi locali e alla loro successiva propagazione agamica (ovoli, carducci, parti di ceppaia). Inoltre, da un punto di vista genetico, sono pochi gli studi effettuati riguardo il determinismo genetico. Tuttavia si riportano in tabella 5 alcuni caratteri studiati da diversi autori. Sono controllati da geni singoli o da due geni *major* i seguenti caratteri: 1) assenza/presenza di spine; l'allele "non spinoso" (*Sp*) è dominante su quello "selvatico spinoso" (*sp*); 2) colore giallo della foglia (carattere presente nelle cultivar di tipologia Romanesco), sotto il controllo di un gene recessivo (*j*); 3) colore bianco dei fiori (flosculi, fig. 24), controllato da un allele recessivo (*b*) in

particolare per questo carattere la pigmentazione del capolino è un carattere per il quale la base genetica per la colorazione antocianica, influenzata anche dalla temperatura e dalla concimazione, è complessa, in quanto coinvolgerebbe una serie di geni modificatori in aggiunta a uno o due geni major [8]; 4) per quanto riguarda la sterilità dei fiori, la presenza di mutanti maschio-sterili sono sotto il controllo di un gene (monogenica) o pochi geni (oligogenica) di tipo recessivi. Nuovi cloni maschio-sterili sono stati recentemente isolati in Italia e studiati da un punto di vista morfologico e funzionale. La maschio-sterilità è legata a un blocco post-meiotico che si verifica durante la microgametogenesi determinando la produzione di polline non vitale, probabilmente associata a una bassa attività nutrizionale delle cellule del tappeto nell'antera [40].

I caratteri morfologici che riguardano: dimensione, forma e peso del capolino, *habitus* della pianta, lunghezza del peduncolo e precocità, hanno evidenziato secondo alcuni Autori [26, 19, 57] una base genetica sotto il controllo di più geni.

Tabella 5 - Determinismo genetico di alcuni caratteri del carciofo

Carattere	Fenotipo	Base genetica	Simboli genetici	Autori
Spinescenza	Presenza di spine sulle foglie e sulle brattee	Monogenica	Sp = non spinoso; sp = spinoso.	(Pochard <i>et al.</i> , 1969)
Foglia gialla	Foglie con colorazione gialla	Monogenica	J = foglia gialla	(Foury <i>et al.</i> , 1977)
Fiore bianco	Fiore completamente bianco	Monogenica	b = fiore bianco	(Foury et Aubert 1977)
Maschio-sterilità	Scarsa produzione di polline e granuli pollinici non vitali	Oligogenica	Mf = maschio-fertile; ms=maschio-sterili	(Principe, 1984); (Basnizki e Zohary, 1994); (Staminia <i>et al.</i> , 2004)
Colore del capolino	Capolini con colore che varia dal viola al verde	Poligenica (geni modificatori)	R = rosso; r = verde;	(Basnizki e Zohary 1994)
Dimensione e forma del capolino	Circolare, ovale, sub-sferica, conica; Grande, media, piccola	Poligenica	Non riportati	De Pace <i>et al.</i> , 1981
Altezza pianta e lunghezza del peduncolo	Alta, media, bassa	Poligenica	Non riportati	Catalano <i>et al.</i> , 1981
Precocità	Precoce, tardiva	Poligenica	Non riportati	Scarascia M. et al., 1981
* Sp, Mf e R sono geni dominanti mentre sp, j, b, ms e r sono geni recessivi.				



Figura 24 - Fiori di diversi colori in cardo coltivato: viola (A), rosa (B), bianchi (C) e composizione floreale (D).

Tra i cloni interessanti ottenuti negli ultimi trenta anni sono da citare: C3, Terom, Tema 2000, Grato1, Grato 2, Moro di Corneto, Etrusco, Exploter, Giove, Apollo e alcuni cloni derivanti dallo “Spinoso Sardo” e dal “Brindisino” selezionati in Sardegna.

Il clone C3, per la precocità e qualità del capolino, ha sostituito circa il 90% delle carciofaie laziali, e si sta diffondendo anche su ampie superfici di altre regioni cinaricole quali: Sicilia, Puglia e Sardegna. La precocità e la scarsa tolleranza al freddo di questo clone, può mettere a rischio, in inverni particolarmente freddi, l'intera produzione. Inoltre l'elevata richiesta di questo clone da parte del mercato è causa di elevati rischi di erosione genetica per le varietà autoctone di “Romanesco” tradizionalmente coltivate nel Lazio ed in Campania.

La riproduzione gamica del carciofo, ha permesso di definire metodologie di miglioramento genetico tendenti alla realizzazione di ibridi F_1 e varietà sintetiche

che manifestano gli effetti positivi dell'eterosi: incremento delle rese unitarie e minor costo di produzione.

L'utilizzo del seme comporta i seguenti vantaggi: meccanizzazione delle operazioni di semina, miglior stato sanitario della pianta, carciofaie omogenee, carciofaia annuale, riduzione degli agrofarmaci.

In Francia, Israele e Stati Uniti, è stata dedicata molta attenzione allo sviluppo di varietà propagate via "seme", sia attraverso la costituzione di linee sufficientemente stabili, sia attraverso la costituzione di ibridi F_1 mediante l'incrocio di linee fertili stabili con maschio-sterili.

Recentemente, attraverso programmi mirati di miglioramento genetico, sono stati ottenuti ibridi F_1 italiani derivanti dall'incrocio di linee *inbred* fertili e cloni maschio-sterili utilizzati come piante portaseme.

Le autofecondazioni ripetute in carciofo determinano però fenomeni di depressione da *inbreeding* con conseguenze negative su: vigore della pianta, superficie fogliare, altezza dello stelo, numero e dimensione dei capolini commerciali, qualità e quantità del polline ed infine sul numero di semi vitali. Talvolta, la depressione da *inbreeding* (tipica delle piante di specie allogame come il carciofo) compare già alla seconda autofecondazione mentre, in altri casi, alla terza quarta autofecondazione; gli effetti possono essere talmente seri da dover rinunciare alla produzione di linee *inbred*. In contrasto con i fenomeni di *inbreeding*, gli incroci tra cloni di carciofo determinano elevata eterosi, espressa chiaramente in biomassa e produzione. È stato inoltre notato un impressionante vigore ibrido nelle combinazioni tra cardo e carciofo.

La strategia seguita in carciofo per l'ottenimento di nuove varietà utilizzata da diversi autori è la seguente: 1) miglioramento della popolazione di base attraverso l'individuazione di piante che verranno o autofecondate o moltiplicate per via vegetativa al fine di selezionare con metodi *ad hoc* cloni o linee per la produzione di varietà commerciali, a questo proposito la maggior parte delle varietà di carciofo moltiplicate per via vegetativa hanno questa

origine; 2) incroci tra piante selezionate per l'ottenimento di popolazioni F_1 e F_2 in cui si applicano selezioni di nuovi ricombinanti seguite da propagazione vegetativa; 3) mutagenesi *in vitro* (piantine irraggiate con raggi gamma) per l'induzione ad esempio di mutanti caratterizzati da bassa taglia, maschio-sterilità e colore del fiore; 4) ottenimento di varietà ibride F_1 derivanti da incrocio tra linee maschio-sterili e maschio-fertili geneticamente stabili; 5) varietà sintetiche ottenute dall'interincrocio di un certo numero di cloni, ecotipi, linee *inbred*, selezionate precedentemente con prove di progenie (syn1, 2, 3 ecc.).

Pertanto la fase iniziale di qualsiasi programma di miglioramento genetico consiste nel collezionare e valutare il germoplasma della specie da impiegare, e nel realizzare variabilità genetica.

2. PARTE SPERIMENTALE

2.1. Premessa

Il carciofo, in Italia, è da sempre uno dei principali ortaggi coltivati, e costituisce uno degli alimenti essenziali della dieta mediterranea.

Negli ultimi anni si è notato un aumento anche cospicuo delle superfici investite a carciofo, soprattutto nei Paesi dove questa coltura era poco diffusa come in Cina, Paese che oggi si attesta al terzo posto per superficie coltivata dopo Italia e Spagna, mentre c'è stato un calo o quantomeno un blocco nell'aumento delle superfici coltivate a carciofo nei Paesi che da sempre sono stati i primi produttori mondiali quali: Italia, Spagna e Francia.

Probabilmente la coltivazione del carciofo sta risentendo della globalizzazione del mercato dovuta essenzialmente all'affacciarsi sul mercato di Paesi che possono contare su una manodopera a basso costo e climi adatti ad ottenere un prodotto precoce, se pur di qualità spesso mediocre.

In tutte le colture agrarie, dove il seme o il frutto sono utilizzati come prodotto primario sia direttamente che trasformati, per ottenere livelli produttivi elevati è indispensabile conoscere le tecniche di impollinazione praticabili e quindi attuare quella migliore. In carciofo pochi sono gli studi riguardanti le tecniche di impollinazione, per cui, la produzione di "seme" risulta piuttosto limitata rispetto alle potenzialità di questa specie i cui meccanismi genetici-fisiologici rimangono pressoché sconosciuti. Dalla ricerca bibliografica risulta che già Foury nel 1967, attribuì la scarsa produzione di semi in carciofo a problemi riguardanti l'impollinazione, la fecondazione e l'embrionogenesi; successivamente, Basnizki e Zohary (1994) affermarono che il carciofo è un cattivo produttore di seme, e che anche nelle cultivar più produttive solo la metà dei fiori danno seme. Secondo Martin (1998) la produzione in seme è da attribuire all'insufficiente trasporto del polline da parte degli insetti pronubi. Nel 2000 Bernal, trovò un'alta correlazione tra la germinazione del polline *in vitro* e

la produzione di seme e una relazione positiva tra l'umidità relativa dell'aria e la resa di acheni per pianta. L'anno successivo Ortega, confermò la scarsa produzione di semi del carciofo nella cultivar americana "Imperial Star", e trovò che i capolini di terzo e quarto ordine producono più semi di quelli di secondo ordine e che probabilmente la pioggia, durante il periodo della fioritura, influenza negativamente la produzione di semi.

Da quanto sopra riportato, risulta evidente l'importanza di migliorare la produzione in seme del carciofo, cercando di aumentare non solo il numero di capolini per pianta, ma anche il numero di semi per capolino che, molto spesso, risulta essere troppo basso per permettere un'alta resa in olio. Sempre a riguardo dell'ottenimento di alta resa in "seme", nel 2010 Saccardo ha riportato incrementi di resa in seme utilizzando insetti pronubi come le api (*Apis mellifera*) e i bombi (*Bombus terrestris*).

Negli ultimi anni, sono stati fatti alcuni lavori molto interessanti, che hanno permesso l'ottenimento dei primi ibridi F_1 uniformi e stabili di carciofo. Tale risultato è da ritenersi molto interessante per vari motivi tra cui quello del possibile passaggio della coltura da poliennale ad annuale, con enormi vantaggi sotto vari aspetti colturali e commerciali quali: minor costo di impianto, facilità nel reperimento del materiale di propagazione, miglior stato fitosanitario della coltura, facilitazione nelle pratiche colturali, specialmente riguardo all'impianto, eliminazione di alcuni interventi colturali come la dicioccatura e in parte la scarducciatura.

L'ottenimento di ibridi F_1 adatti ai vari ambienti di coltivazione e alle diverse esigenze dei mercati, non è un processo molto veloce e semplice da attuare, soprattutto in quelle specie come il carciofo in cui sono stati fatti pochi studi riguardo all'eredità dei caratteri produttivi e qualitativi, e dove fino ad ora la maggior parte dei cinaricoltori utilizza per l'impianto materiale a propagazione vegetativa. Uno dei problemi che si incontrano all'inizio di un programma di miglioramento genetico in carciofo, per l'ottenimento di ibridi F_1 stabili, è senza

dubbio quello di ottenere linee maschio-fertili stabili e cloni maschio-sterili con una buona abilità alla combinazione generale.

Inoltre, durante la selezione dei genotipi più interessanti, particolare attenzione è da rivolgere alla produzione di “seme” ibrido ottenuta dalle piante maschio-sterili che spesso è troppo bassa per ottenere dei buoni risultati a livello commerciale.

Un altro vantaggio che è possibile ottenere con la coltivazione di ibridi F_1 è quello di ottenere livelli produttivi soddisfacenti per poter coltivare il carciofo come pianta oleifera, sfruttando l'eterosi mostrata in genere dagli ibridi ottenuti dall'incrocio di linee *inbred*. Inoltre, l'utilizzo di piante provenienti da seme, visto in generale i costi elevati dei carducci, sia provenienti direttamente dal campo che da vitro, risulta determinante per lo sviluppo di questa coltura come pianta oleifera. Fino ad oggi pochi sono stati i lavori effettuati sull'olio di carciofo, ultimamente però, sembra aumentato l'interesse per la propagazione gamica e di conseguenza sono aumentati i lavori volti all'ottenimento di linee o ibridi di carciofo adatti alla produzione di olio. Il lavoro di selezione inizia, in genere, partendo da alcuni cloni commerciali o da linee da seme provenienti da precedenti programmi di miglioramento genetico effettuati da ditte sementiere o enti pubblici di ricerca e volti essenzialmente all'ottenimento di carciofi per il consumo fresco.

Il livello produttivo e la stabilità delle linee che si sono ottenuti in questi anni, sono da ritenersi soddisfacenti per poter iniziare a coltivare il carciofo come pianta oleifera, al pari di altre specie come ad esempio il girasole, che già da molti anni vengono ampiamente utilizzate per l'estrazione di olio dai semi. Certamente il lavoro di miglioramento genetico del carciofo per la produzione di olio è all'inizio della sua storia e quindi può e deve essere migliorata la resa sia in acheni sia in olio, senza tralasciare la qualità dell'olio stesso e cioè i diversi profili di acidi grassi per soddisfare le differenti esigenze delle industrie; infine, deve essere migliorata la tecnica colturale diversificandola da quella attuale utilizzata

per la produzione di capolini per il consumo fresco e quindi non perfettamente rispondente alla produzione di acheni.

Il carciofo è una pianta da cui si ricavano diversi prodotti commercialmente interessanti, non solo costituiti dai capolini destinati al mercato fresco, o all'industria di trasformazione per ottenere surgelati o semi lavorati, ma anche prodotti nutraceutici derivanti dalla lavorazione delle foglie (polifenoli, per le proprietà antiossidanti) o delle radici (inulina, zucchero implicato nella regolazione della microflora intestinale e nell'assorbimento dei minerali). Inoltre, dagli acheni può essere estratto l'olio, che può essere destinato alle industrie: a) *alimentari*, per l'ottenimento di un olio dalle buone qualità salutistiche, dovute ad un buon rapporto di acidi grassi, in particolare alla presenza di acido oleico e linoleico, e ad un buon contenuto in tocoferoli; b) *farmaceutiche*, per ottenere saponi o creme idratanti; c) *chimiche* per ottenere lubrificanti, vernici, o estratti idroalcolici. Dopo l'estrazione dell'olio, dall'achenio si ottiene anche un interessante sottoprodotto: il pannello (estrazione per spremitura) o la farina (estrazione con solventi) che può essere utilizzato anche per l'alimentazione animale, in miscela con altri alimenti, o per l'estrazione di proteine vegetali.

2.2. Obiettivi

La presente ricerca di dottorato ha riguardato il carciofo e ha avuto come scopo principale la realizzazione di linee e ibridi F_1 di particolare pregio, per alta resa in acheni (semi) da cui estrarre olio di elevato standard qualitativo. Per il conseguimento degli obiettivi prefissati è stata attuata la seguente strategia (fig. 25):

- costituzione di linee parentali uniformi e geneticamente stabili caratterizzate da alta resa in “semi” (acheni) attraverso l’applicazione di cicli di autofecondazione, selezione e micropropagazione effettuati nell’ambito del germoplasma di carciofo preesistente e ottenuto da incrocio e/o interincrocio;
- realizzazione di ibridi F_1 ottenuti dall’incrocio tra linee parentali fertili e cloni maschio-sterili attraverso lo sviluppo di una tecnica di impollinazione mediante l’impiego di insetti pronubi (api e “*cutter bees*”).
- caratterizzazione morfologica delle linee e ibridi F_1 mediante descrittori morfologici CPVO per la valutazione sia dell’uniformità e stabilità genetica sia per l’alta resa in “seme”;
- valutazione del livello di eterosi degli ibridi F_1 espresso sia come sviluppo della pianta che dalla produzione in “seme”;
- estrazione di olio dal “seme” dalle linee selezionate di carciofo e di cardo, e successiva valutazione quali-quantitativa dell’olio ottenuto.

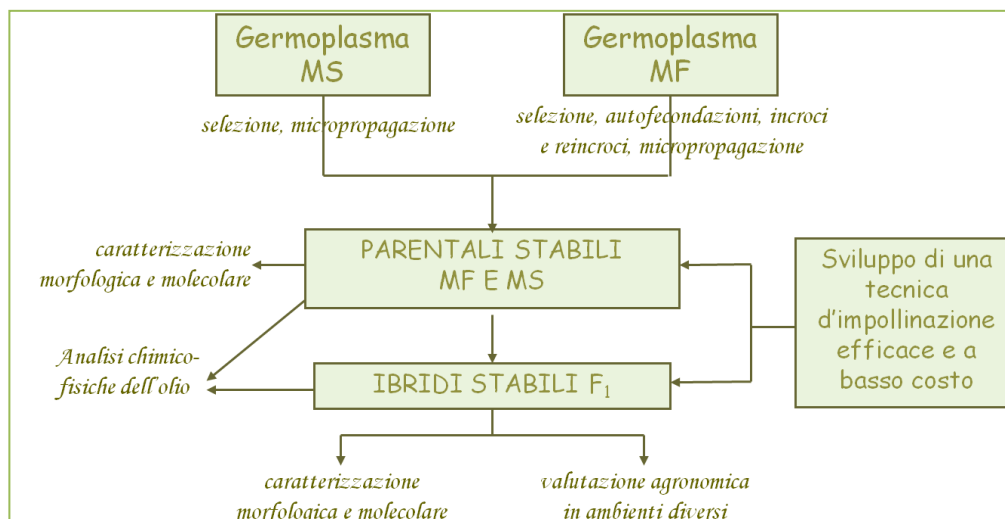


Figura 25 - Strategia utilizzata per la costituzione di genotipi adatti alla produzione di olio.

In particolare sono state condotte le seguenti attività sperimentali:

- raccolta e valutazione morfo-fisiologica e genetica di germoplasma di origine italiana e californiana;
- realizzazione di linee maschio-fertili geneticamente uniformi e stabili ottenuti mediante cicli di autofecondazione e “*sib-cross*” e successiva micropropagazione;
- selezione di mutanti maschio-sterili ottenuti da autofecondazione di ibridi F_1 e valutazione degli stessi sotto il profilo del genotipo (livello di omozigosi) e dell’attitudine alla combinazione generale e specifica. Il materiale selezionato è stato quindi propagato e mantenuto mediante micropropagazione;
- messa a punto di una tecnica di impollinazione tra linee maschio-fertili e maschio-sterili in ambiente controllato mediante l’impiego di insetti pronubi (api e *cutter bees*);
- impiego della miglior tecnica di impollinazione abbinata ad un rapporto ottimale tra piante maschio-fertili e mutanti maschio-sterili per una elevata produzione di seme ibrido;

- analisi quali-quantitativa di olio estratto da semi di linee e ibridi F_1 di carciofo e da linee di cardo.

2.3. Studio dell'impollinazione

2.3.1. Materiali e metodi

✓ *Tecnica colturale*

Il lavoro è stato realizzato nel triennio 2007-2010, e ha previsto due prove di cui una è stata effettuata a Viterbo nell'azienda didattico-sperimentale "Nello Lupori" della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi della Tuscia e l'altra a *Brawley* (USA, CA), presso i campi sperimentali della *Big Heart Seed Company*.

Le carciofaie sono state impiantate a Viterbo nel mese di agosto tramite trapianto di piantine a radice protetta, mentre a *Brawley* sono state eseguite nel mese di ottobre attraverso la semina diretta. La preparazione del letto di semina per entrambi i campi è avvenuta mediante un aratura profonda circa 30 cm, seguita da due passaggi di erpice a dischi.

Al momento dell'impianto è stata effettuata, per entrambi i campi sperimentali, una concimazione di base che ha previsto la distribuzione di 0,6 t ha⁻¹ di un fertilizzante minerale ternario (11:22:16), per un apporto complessivo di 66 kg ha⁻¹ di N, 132 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 96 kg ha⁻¹ di K₂O. Le infestanti sono state contenute con ripetute scerbature manuali.

Le esigenze idriche della coltura sono state soddisfatte a Viterbo in entrambi gli anni attraverso un sistema di irrigazione localizzato a goccia, mentre a *Brawley* è stato impiegato il metodo a scorrimento nel primo anno (2008) e quello a goccia nel secondo (2009). Il primo metodo prevedeva la dislocazione su ogni fila di un ala gocciolante con fori a 30 cm. I turni di irrigazione sono risultati notevolmente diversi tra le due località: a Viterbo soltanto nel periodo estivo, mentre in California dall'autunno (semina) fino a luglio (raccolta). Durante l'intero ciclo colturale non è stato fatto alcun trattamento contro insetti o

funghi. Dopo circa due mesi dalla fine della fioritura, in ambedue gli ambienti considerati, sono stati raccolti i semi dai capolini ormai completamente secchi.

✓ *Confronto tra tecniche di impollinazione*

Nel biennio 2009-2010 in California, sono state messe a confronto diverse tecniche di impollinazione per valutare la loro efficacia in termini di numero di acheni prodotti per capolino sia per quanto riguarda le piante coltivate in pieno campo per la produzione di acheni destinati alla produzione di olio, sia per quelle coltivate all'interno di isolatori per la produzione di seme ibrido.

La sperimentazione prevedeva per il pieno campo il confronto di tre tecniche di incrocio: a) libera impollinazione; b) impiego delle api; c) impiego dei *cutter bees*. In ciascuno appezzamento sono state delimitate 3 aree di saggio di 25 m², ciascuna contenente 25 piante della linea F 19.

Per studiare la migliore tecnica di impollinazione in ambiente confinato, sono state messe a confronto le seguenti quattro tecniche: a) api; b) *cutter bees*; c) pennello; d) sfregamento del capolino.

In entrambe le prove è stata adottata una densità colturale di 1 pianta m², ottenuta disponendo le piante alla distanza di 80 cm lungo la fila e 120 cm tra le file.

L'isolatore era composto da una struttura di ferro zincato sormontato da una rete anti-insetto (fig. 26), con la presenza di un'apertura laterale per il passaggio degli operatori. All'inizio della fioritura, all'interno degli isolatori sono stati disposti gli insetti pronubi e contemporaneamente un contenitore di acqua per soddisfare le loro esigenze. Gli isolatori sono stati rimossi alla fine della fioritura.



Figura 26 - Parcella sperimentale con isolatore

✓ *Impiego di soluzione zuccherina*

Nello stesso periodo di riferimento in California, è stato studiato l'effetto di una soluzione acquosa contenente saccarosio, sul numero di visite da parte degli insetti pronubi sui fiori di carciofo (fig. 27) e quindi le eventuali ricadute sulla produzione di acheni.

Per la prova è stato usato un clone maschio-sterile denominato "ms6", ottenuto in un precedente programma di miglioramento genetico svolto all'Università degli Studi della Tuscia. È stato deciso di impiegare questo clone perché la produzione in seme offerta negli anni precedenti anche in condizioni ottimali, come quelle del pieno campo, non era risultata soddisfacente in quanto notevolmente inferiore rispetto alle linee maschio-fertili. Per cui, si è ipotizzato che l'ms6, come altri maschio-sterili, non fosse in grado di attrarre sufficientemente gli insetti pronubi a causa della limitata produzione di polline e alla ridotta produzione di nettare.



Figura 27 - Elevata presenza di api su infiorescenze di carciofo di diverso colore

Come linea maschio-fertili è stata utilizzata l' F 19 ed è stato mantenuto in entrambi i campi sperimentali un rapporto di 4:1 tra cloni maschio-sterili e maschio-fertili.

Per la realizzazione della prova è stato allestito un campo sperimentale di circa 1 ha. La prova è stata impostata secondo lo schema sperimentale a blocco randomizzato con tre repliche e prevedeva il confronto di 4 trattamenti con tre repliche. I trattamenti analizzati erano rappresentati da un testimone non trattato e da tre diverse concentrazioni di soluzione zuccherina contenente saccarosio: a) 10 g/l; b) 20 g/l; c) 30 g/l. È stata adottata una densità colturale di 1 pianta m², ottenuta disponendo le piante alla distanza di 80 cm lungo la fila e 120 cm tra le file.

Il liquido zuccherino è stato spruzzato direttamente sull'infiorescenza per tutto il periodo della fioritura, effettuando un trattamento ogni 5 giorni per un totale di 6 trattamenti. Le applicazioni venivano effettuate al mattino presto con una pompa a spalla.

Circa un mese dopo la fine della fioritura sono stati raccolti i semi ormai completamente maturi e con un basso livello di umidità. Per l'estrazione degli acheni è stata usata una trebbia. Infine, è stato determinato il peso totale degli acheni di ogni parcella.

I dati ottenuti sono stati elaborati utilizzando come programma di statistica “R” , è stata fatta l’analisi della varianza per evidenziare differenze tra le tesi a confronto.

✓ *Relazione tra ora di impollinazione e produzione di acheni*

Nel biennio 2008-2010 a Viterbo presso i campi sperimentali dell’Università della Tuscia è stata effettuata una sperimentazione per verificare il momento della giornata più propizio per effettuare l’impollinazione. A questo riguardo sono state messe a confronto 4 trattamenti, consistenti in altrettanti intervalli di tempo in cui era programmata l’impollinazione, e precisamente: a) dalle 8 alle 10, b) dalle 11 alle 13, c) dalle 14 alle 16 e d) dalle 17 alle 19.

Per ciascun trattamento sono state analizzate 25 piante. Le piante oggetto di studio, derivavano da tre progenie F_2 di cloni di carciofo della tipologia Romanesco: Grato1, Bianco di Pertosa e Tondo Rosso di *Paestum*. È stata adottata una densità colturale di 0,83 pianta m^2 , ottenuta disponendo le piante alla distanza di 100 cm lungo la fila e 120 cm tra le file. Pochi giorni prima dell’inizio della fioritura, i capolini sono stati coperti con una rete anti-insetto che è stata rimossa alla fine della fioritura. Tutti i capolini sono stati autofecondati manualmente utilizzando un pennello con polline raccolto precedentemente e conservato a 5 °C. A distanza di circa un mese dalla fine della fioritura, dai capolini sono stati estratti gli acheni determinandone il peso totale per pianta.

✓ *Relazione tra quantità di polline e produzione di acheni*

Da osservazioni visive in campo, durante il primo anno di attività, è emersa una certa relazione positiva tra la produzione di polline e la produzione di acheni; pertanto, per verificare tale ipotesi, nel biennio 2008-2010, presso l’azienda sperimentale dell’Università degli Studi della Tuscia, è stata valutata la produzione di acheni delle tre progenie F_2 già descritte nella precedente prova.

Al momento della piena fioritura, in base alla quantità di polline osservata, i capolini di ciascuna pianta sono stati classificati in: a) bassa; b) medio-bassa; c) media; d) medio-alta; e) alta.

Le piante erano disposte alla stessa densità colturale della prova precedentemente descritta.

Applicando la stessa tecnica descritta per il precedente esperimento, tutti i capolini di ciascuna pianta in prova sono stati isolati con una rete anti-insetto fino alla fine della fioritura. I capolini sono stati autofecondati manualmente utilizzando un pennello. Dopo circa un mese dalla fine della fioritura sono stati estratti gli acheni dai capolini determinandone il peso totale prodotto da ogni pianta.

✓ *Studio del rapporto ottimale tra Mf e ms per la produzione di seme*

Per massimizzare la produzione di acheni nella produzione di seme ibrido è stata impostata una prova tendente ad individuare il rapporto ottimale tra piante maschio-fertili (Mf) e maschio-sterili (ms) in ambiente controllato. Pertanto, nel biennio 2008-2010 in California, sono stati studiati diversi rapporti tra Mf e ms in quanto, come è facile dedurre, a parità di altre condizioni la produzione è fortemente influenzata dal numero di maschio-fertili in quanto questi non concorrono direttamente alla produzione di seme ibrido ma soltanto alla produzione di polline.

Per tale prova è stato impiegato come clone maschio-sterile l'“ms6” e come linee maschio-fertili sono state usate: F 19; 9 bdg; Wb; Cyl e Bn

✓ *Effetto della depressione da inbreeding in carciofo*

La prova è stata svolta durante il biennio 2008-2010 a Viterbo presso i campi sperimentali dell'Università della Tuscia.

Sono stati analizzati alcuni parametri vegeto-produttivi (numero di capolini/pianta, numero semi/capolino, peso medio del seme, produzione di

acheni) di 4 cloni di carciofo (Bianco di Pertosa, Grato 1, Violetto di Toscana e Tondo Rosso di *Paestum*) e delle rispettive progenie provenienti dalla prima e seconda autofecondazione. È stata adottata una densità colturale di 0,83 pianta m², ottenuta disponendo le piante alla distanza di 100 cm lungo la fila e 120 cm tra le file.

I capolini di tutte le piante analizzate sono stati isolati mediante l'utilizzo di una rete anti-insetto prima della fioritura e l'impollinazione è stata effettuata manualmente con l'utilizzo di un pennello.

✓ *Determinazione del livello di allogamia in carciofo*

Per determinare il livello di allogamia in carciofo è stato studiato in una prima fase il controllo genetico del carattere “fiore bianco” e successivamente, acquisita la conoscenza della base genetica del carattere “fiore bianco” è stata impostata una sperimentazione mirata alla determinazione del livello di allogamia in carciofo

Per studiare la base genetica del carattere “fiore bianco” sono stati costituiti ibridi F₁ attraverso incroci tra linee a fiori bianchi e linee a fiori viola; pertanto, nel 2008 sono stati costituiti 3 ibridi utilizzando come parentale porta-seme un maschio-sterile (ms6) a fiori viola e come impollinatori tre linee (WB#1, WB#2 e WB#3) caratterizzate da fiori completamente bianchi.

Nel 2009, gli ibridi provenienti dagli incroci succitati e risultati tutti con fiori viola, sono stati autofecondati. Gli acheni ottenuti sono stati seminati in pieno campo nel mese di settembre dello stesso anno e nel 2010 le progenie provenienti dall'autofecondazione dei 3 ibridi sono state valutate per il carattere “fiore bianco”.

Appurato che la base genetica del carattere “fiore bianco” era sotto il controllo di un solo gene recessivo, è stata impostata una sperimentazione mirata alla determinazione del livello di allogamia in carciofo, secondo lo schema riportato in figura 28.

Durante la fioritura è stato prelevato e miscelato il polline delle linee A e B, e quindi impiegato per l'impollinazione della linea B (linea porta-seme). Gli acheni raccolti (linea B) sono stati seminati in tre parcelle costituite da 50 piante ciascuna. Durante la fioritura delle piante della progenie della linea B, è stato conteggiato il numero di piante che presentavano i fiori bianchi.

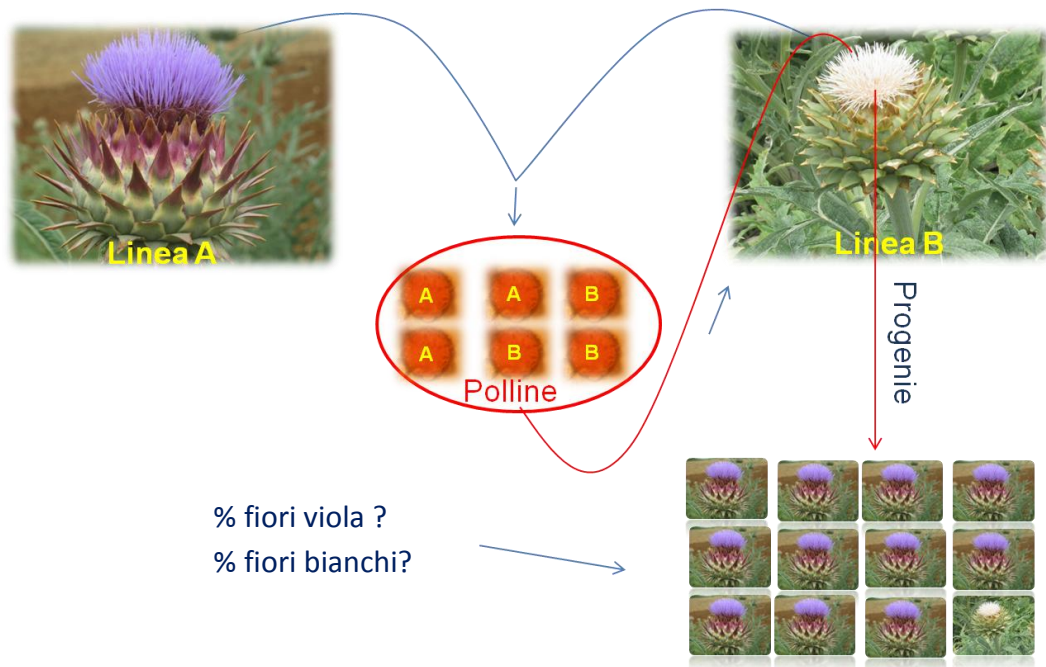


Figura 28 - Schema utilizzato per la determinazione del livello di allogamia in carciofo

2.3.2. Risultati e discussione

Nelle tabelle 6 e 7 sono riportati i dati relativi al confronto di alcune tecniche di impollinazione effettuate in pieno campo e sotto isolatore. La produzione di acheni è stata influenzata in entrambi i casi dall'ambiente di coltivazione.

Tabella 6 - Confronto tra differenti tecniche di impollinazione in pieno campo (linea F 19).

Metodo di impollinazione	N. semi capolino ⁻¹
Libera impollinazione	200 c
Api	345 a
<i>Cutter bees</i>	305 b
<i>A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per p = 005 (test di Duncan)</i>	

In pieno campo (tab. 6), i risultati migliori sono stati ottenuti utilizzando i pronubi come tecnica di impollinazione. In particolare, la maggior produzione di acheni è stata ottenuta con l'impiego delle api (345 acheni capolino⁻¹), che ha preceduto quella ottenuta con l'impiego i "*cutter bees*" (305 semi a capolino⁻¹). Produzioni significativamente inferiori rispetto alle suddette tecniche sono state ottenute con la libera impollinazione (200 semi capolino⁻¹).

Tabella 7 - Confronto tra differenti tecniche di impollinazione in ambiente confinato (linea F 19).

Metodo di impollinazione	N. semi capolino ⁻¹
Api	287 a
<i>Cutter bees</i>	296 a
Pennello	30 b
Sfregamento capolino	39 b
<i>A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per p = 005 (test di Duncan)</i>	

All'interno dell'isolatore (tab. 7) non sono emerse differenze significative tra l'utilizzo delle api e i *cutter bees*, mentre livelli di produzione notevolmente

minori si sono avuti con entrambe le tecniche di impollinazione manuale; in particolare il numero medio di acheni per infiorescenza sono risultato pari a 30 con l'impiego del pennello e a 39 con lo sfregamento del capolino. L'impiego di una soluzione acquosa contenente saccarosio spruzzata sui capolini durante il periodo di fioritura, ha determinato un aumento statisticamente significativo della produzione nel trattamento che prevedeva una concentrazione al 10% di saccarosio, come riportato nella tabella 8. L'ulteriore aggiunta di saccarosio nella soluzione, pur aumentando le visite delle api sui capolini, ha determinato una riduzione della produzione rispetto al controllo. Sembra quindi che a dosi basse di saccarosio (10%) non ci siano problemi sulla fecondazione mentre aumentando le dosi dello zucchero si creino dei problemi di fecondazione, forse dovuti all'eccessivo potenziale osmotico che si viene a creare sulla superficie dello stigma, determinando quindi un ambiente non ottimale per la germinazione del polline. C'è da tener presente che le alte temperature determinano l'evaporazione dell'acqua con un aumento della concentrazione dello zucchero sul fiore.

Tabella 8 - Effetto della soluzione zuccherina sulla produzione di acheni della linea F 19 (Brawley).

Tecnica utilizzata	Concentrazione di saccarosio	Semi capolino ⁻¹
	(%)	(N°)
Controllo (non trattato)	0	43 b
Soluzione zuccherina	10	66 a
	20	34 c
	30	14 d

A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per $p = 005$ (test di Duncan)

In figura 29, dove sono riportati i dati relativi alla produzione di acheni riferiti ai singoli trattamenti (intervalli orari in cui è avvenuta l'impollinazione) è

possibile notare una stretta correlazione ($R^2 = 0,95$) esistente tra l'ora in cui è avvenuta l'impollinazione e la relativa produzione di acheni.

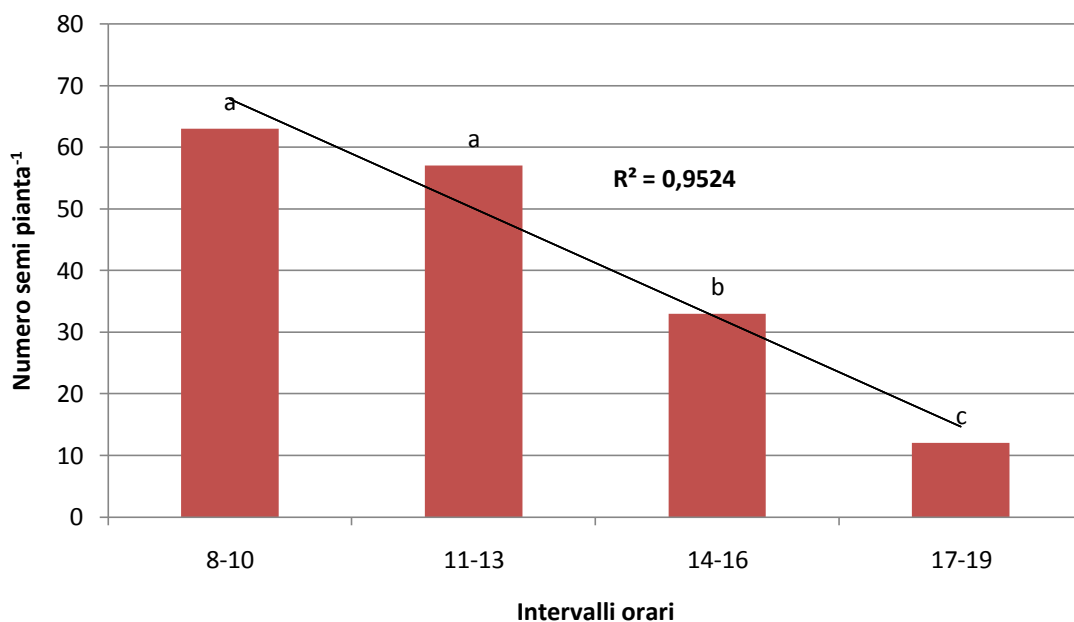


Figura 29 - Effetto dell'ora di impollinazione sulla produzione di acheni di tre progenie F2 delle cv Grato 1, Bianco di Pertosa e Tondo rosso di Paestum (Viterbo).

Inoltre nella stessa figura si può notare che il maggior numero di acheni per pianta è stato ottenuto nei due intervalli orari mattutini (63 e 57 semi pianta⁻¹) per poi decrescere significativamente nel terzo (33 semi pianta⁻¹) e quarto intervallo (12 semi pianta⁻¹).

Dall'analisi della figura 30, è possibile notare che le produzioni più elevate di acheni per pianta (valori compresi tra 330 e 350) si sono avute nelle piante in cui il giudizio, espresso sulla base della quantità di polline presente al momento della fioritura risultava appartenere alle categorie media, medio-alta e alta.

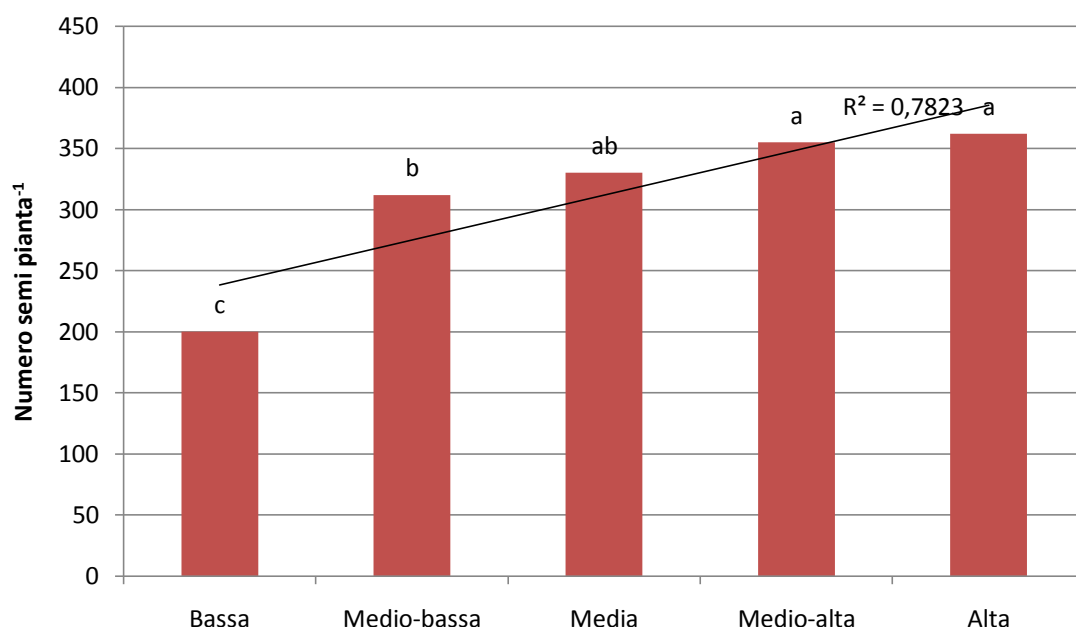


Figura 30 - Relazione tra quantità di polline osservata sui capolini e produzione di acheni di tre progenie F2 delle cv Grato 1, Bianco di Pertosa e Tondo rosso di Paestum (Viterbo).

Valori notevolmente inferiori sono stati osservati nelle piante dove la quantità di polline risultava appartenere alle categorie medio-bassa, (312 semi) e ancora in misura maggiore per quelle classificate nella categoria bassa (200 semi).

Dall'analisi dei risultati riportati in figura 31 si osserva che la produzione di seme per capolino non ha subito variazioni significative al variare del rapporto tra il numero di MF e di ms. Nella stessa figura si osserva l'alta variazione tra le repliche ed in particolare in quelle relative al rapporto 0,3 e 0,4.

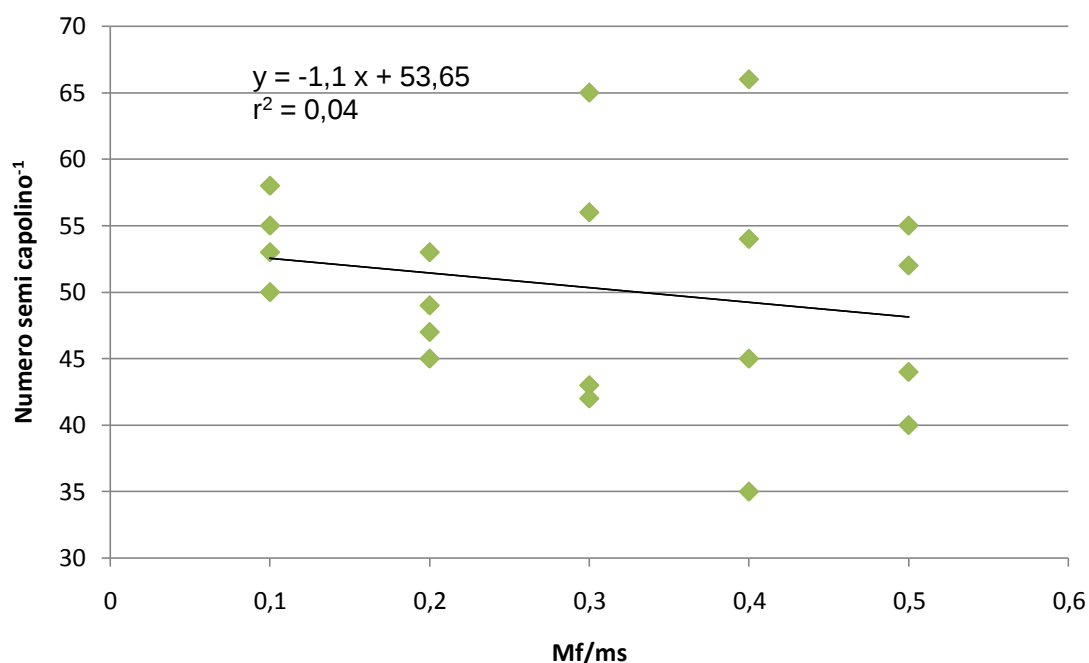


Figura 31 - Influenza del rapporto Mf:ms sulla quantità di seme prodotto. Mf = F 19, 9-ddg, Wb, Cyl, Bn; ms = ms 6 (Brawley).

Per quanto riguarda gli effetti della depressione da inbreeding in carciofo, valutata su 4 cultivar (Bianco di Pertosa, Grato 1, Violetto di Toscana e Tondo Rosso di Paestum), i cui dati medi sono riportati in figura 32, è stato osservato un calo statisticamente significativo di tutti i parametri analizzati, ad eccezione del peso medio del seme.

Il maggior decremento della resa in seme per pianta, si è avuto in corrispondenza della prima autofecondazione con un calo di circa il 40% mentre, dopo la seconda autofecondazione si è osservata una ulteriore diminuzione della produzione di circa il 15%. Anche per quanto riguarda il parametro “numero di capolini per pianta” sono stati rilevati decrementi significativi del 25% con la prima autofecondazione e del 10% con la seconda autofecondazione; contemporaneamente si è evidenziato anche una diminuzione del numero di semi per capolino del 15% dopo la prima e del 10% dopo la seconda autofecondazione.

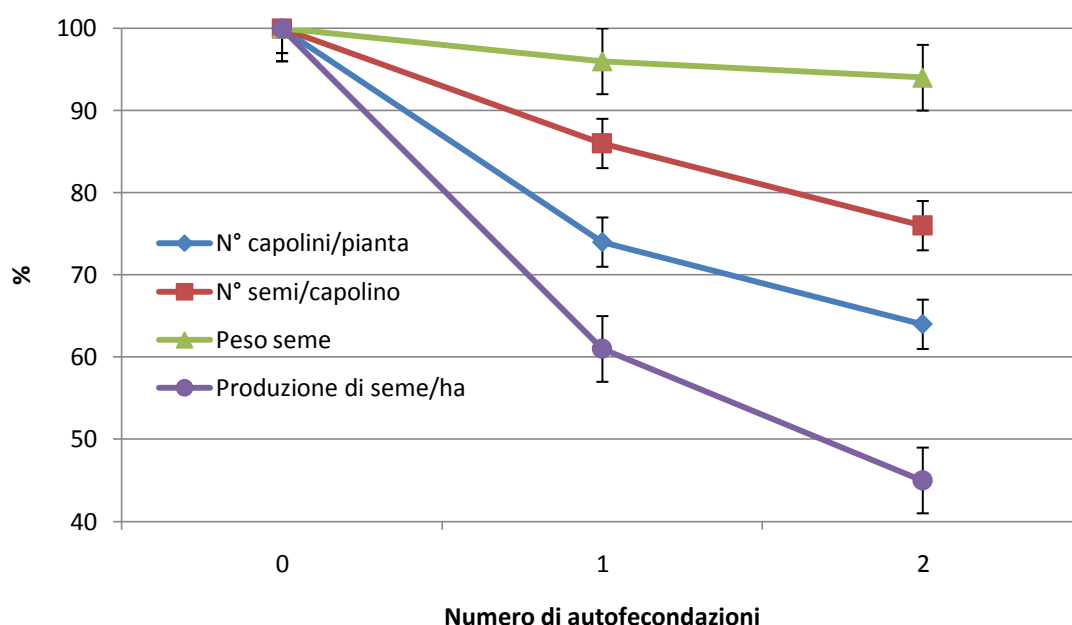


Figura 32 - Effetto medio della depressione da inbreeding in carciofo di 4 cultivar (Bianco di Pertosa, Grato 1, Violetto di Tosca e Tondo Rosso di Paestum) su alcune componenti della produzione (%).

In tabella 9 sono riportati per le quattro cultivar in prova i singoli valori dei parametri analizzati: capolini pianta⁻¹, acheni capolino⁻¹, peso medio del seme e produzione di acheni ha⁻¹.

L'analisi statistica ha evidenziato quanto segue: 1) la produzione di seme delle progenie delle 4 cultivar, dopo la seconda autofecondazione, è stata particolarmente scarsa soprattutto per le cultivar Violetto di Toscana (0,36 t ha⁻¹) e Bianco di Pertosa (0,43 t ha⁻¹); mentre le cultivar Tondo Rosso di Paestum e Grato 1 hanno prodotto rispettivamente 0,71 e 0,78 t ha⁻¹; 2). Il numero di capolini per pianta è diminuito sensibilmente nella cv "Bianco di Pertosa" passando da 11 a 5 capolini/pianta; 3) il numero di semi per capolino è risultato minimo nella cv "Violetto di Toscana" dopo la seconda autofecondazione; 4) L'effetto delle autofecondazioni, in termini di peso medio del seme, non ha evidenziato nessun calo statisticamente significativo in tutte le cultivar analizzate.

Tabella 9 - Effetto della depressione da inbreeding in carciofo (Viterbo)

Varietà	Parametri analizzati											
	Capolini pianta ⁻¹ (n°)			Semi capolino ⁻¹ (n°)			Peso medio 100 semi (g)			Produzione di granella (t ha ⁻¹)		
	Autofecondazione (n°)											
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Bianco di Pertosa	11 a	8,0 b	5,0 c	250 a	200 b	176 c	5,0	4,9	4,9	1,4 a	0,8 b	0,4 c
Grato 1	13 a	11 b	10,0 c	200 a	170 b	163 c	5,5	5,3	4,8	1,4 a	1,0 b	0,8 c
Violetto di Toscana	12 a	8,0 b	7,5 b	205 a	121 b	112 c	4,5	4,3	4,4	1,1 a	0,4 b	0,4 c
Tondo di Paestum	12 a	8,0 b	7,5 b	274 a	266 b	221 c	4,6	4,4	4,3	1,5 a	0,9 b	0,7 c
Significatività	*	*	*	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	*
I valori di ciascuna riga contrassegnati da lettere differenti sono tra loro statisticamente diversi (test di Duncan): n.s.=non significativo												

Lo studio del livello di allogamia mediante l'utilizzo di marcatori morfologici (capolini a fiori bianchi e a fiori viola) ha permesso di definire sia il grado di segregazione del colore del fiore che la percentuale di alloincrocio in carciofo.

In particolare, dai risultati della segregazione degli incroci tra piante con fiori bianchi e quelle con fiori viola riportati in tabella 8 emerge che tutti e tre gli ibridi hanno segregato per tale carattere con un rapporto di circa 1:3. Pertanto, si evince che la presenza di fiori di colore bianco è controllata da un gene recessivo, confermando quindi quanto riportato da Foury e Aubert (1977). L'impiego di questo marcatore è quindi risultato valido per la determinazione del livello di allogamia.

Tabella 10 - Segregazione del colore del fiore

Genotipo	Piante analizzate (n°)	Piante con fiori bianchi (n°)	Valore atteso (n°)	Test X ²	Rapporto di segregazione
A41	50	11	12,5	0,20 n.s.	1:3,5
A33	50	11	12,5	0,20 n.s.	1:3,5
A52	50	9	12,5	1,36 n.s.	1:4,5

A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per p = 005 (test di Duncan)

I dati riportati in tabella 11 evidenziano che la percentuale di fiori bianchi è stata molto bassa per tutte le progenie analizzate con una media pari al 4%, per cui il livello di allogamia è risultato del 96%. Tale risultato non solo conferma quanto riportato in letteratura e cioè che il carciofo è una specie prevalentemente allogama ma indica anche il grado di allogamia.

Tabella 11 - Livello di alloincrocio in carciofo.

Progenie pianta (n°)	Piante (n°)	Piante con fiori bianchi (n°)	Allogamia (%)
1	50	3	94
2	50	1	98
3	50	2	96
Media			96

2.4. Costituzione di linee e ibridi F₁ caratterizzati da alta resa in seme

2.4.1. Materiali e metodi

✓ *Tecnica colturale*

Il lavoro è stato realizzato nel triennio 2008-2010, il primo anno la prova è stata effettuata presso il Centro Sperimentale ARSIAL di Cerveteri, mentre il secondo e il terzo anno a Brawley (CA), nei campi sperimentali della Big Heart Seed Company. Il materiale vegetale utilizzato nei tre anni di sperimentazione è riportato in tabella 12.

Tabella 12 - Linee e varietà di carciofo utilizzate nella sperimentazione

Materiale vegetale	Metodo di propagazione		Origine	
	agamica	gamica	Italia	USA
CLONI				
Bianco di Pertosa	*		*	
Grato 1	*		*	
Tondo di Paestum	*		*	
Violetto di Toscana	*		*	
LINEE				
9BDG		*		*
Brawley North		*		*
CYL		*		*
F-19		*		*
Withe Bloomer		*		*
IBRIDI				
Big red		*	*	*
Lulu		*	*	*
Misa		*	*	
Sami		*	*	

Gli impianti delle carciofaie sono stati effettuati a Cerveteri nel mese di agosto del 2007 mediante carducci, e a Brawley nel mese di ottobre del 2008, tramite la semina diretta. La preparazione del letto di semina per entrambi i campi è avvenuta mediante un'aratura profonda circa 30 cm, seguita da due passaggi di erpice a dischi. A Brawley è stata effettuata anche la baulatura del terreno (fig. 33).



Figura 33 - Carciofaia da seme (California).

Al momento dell'impianto è stata effettuata, per entrambi i campi sperimentali, una concimazione di base e più precisamente a Brawley sono state distribuite $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ di un fertilizzante minerale ternario (11:22:16), per un apporto complessivo di 66 kg ha^{-1} di N, 132 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 96 kg ha^{-1} di K_2O , mentre a Cerveteri sono stati distribuiti concimi semplici: fosfato monoammonico (12:61:0) e solfato di potassio (51), per complessivi 36 kg ha^{-1} di N, 183 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 102 kg ha^{-1} di K_2O .

Per soddisfare il fabbisogno nutritivo della coltura è stato necessario apportare ulteriori 100 unità di N a Brawley e 120 unità dello stesso elemento a Cerveteri, sotto forma di urea.

Le infestanti sono state contenute con ripetute scerbature manuali.

Le esigenze idriche della coltura sono state soddisfatte a Cerveteri attraverso un sistema di irrigazione localizzato a goccia, mentre a Brawley è stato impiegato il metodo a scorrimento nel primo anno (2008) e quello a goccia nel secondo (2009). Il primo metodo prevedeva la dislocazione su ogni fila di un ala gocciolante con fori a 30 cm. I turni di irrigazione sono risultati notevolmente diversi tra le due località: a Cerveteri si è intervenuti principalmente nel periodo estivo e solo due volte nel periodo inverno come irrigazione di soccorso, mentre in California (fig. 34) ininterrottamente dall'autunno (semina) fino a luglio (raccolta). Durante l'intero ciclo colturale non è stato fatto alcun trattamento contro insetti o funghi. A distanza di due mesi dalla fine della fioritura, in ambedue gli ambienti considerati, sono stati raccolti i semi dai capolini ormai completamente secchi.



Figura 34 - Campo sperimentale della Big Heart Seed (Brawley, CA).

Tra i metodi di moltiplicazione utilizzati, oltre al seme è stata applicata la tecnica di micropropagazione. Le piante micropropagate, sono state prodotte presso il laboratorio di colture in vitro della società californiana Baroda Farm (Lampoc). I protocolli applicati per la micropropagazione, già ampiamente utilizzati da altri autori (Barba M., 2004), consistente nelle seguenti fasi: 1)

messa in coltura di apici meristematici provenienti da carducci, previa sterilizzazione con HgCl_2 (5 g/l) e NaOCl (1,5%), sottoposti a diversi cicli di moltiplicazione, su idonei substrati solidi contenenti le vitamine, i macro e micro elementi (Murashige e Skoog 1962) (tab. 13); 2) radicazione in vitro di plantule su di un substrato simile al precedente ma dimezzato per quanto riguarda gli elementi di Murashige e Skoog. 4) ambientamento delle piante micropropagate in serra; 5) trapianto.

Tabella 13 - Composizione del substrato di moltiplicazione usato in carciofo.

Macroelementi	Quantità
NH_4NO_3	400 mg l ⁻¹
KNO_3	800 mg l ⁻¹
$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	370 mg l ⁻¹
KH_2PO_4	170 mg l ⁻¹
CaCl_2	150 mg l ⁻¹
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	1000 mg l ⁻¹
Microelementi	
$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	8,6 mg l ⁻¹
H_3BO_3	6,2 mg l ⁻¹
$\text{MnSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$	20 mg l ⁻¹
$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	0,25 mg l ⁻¹
$\text{NaMoO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	0,25 mg l ⁻¹
$\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	0,025 mg l ⁻¹
KI	0,83 mg l ⁻¹
FeEDTA	36,7 mg l ⁻¹
Vitamine	
Mio-inositolo	200 mg l ⁻¹
Tiamina	1 mg l ⁻¹
Pyridoxina	0,5 mg l ⁻¹
Acido nicotinico	0,5 mg l ⁻¹
Glicina	2 mg l ⁻¹
Saccarosio	30 g l ⁻¹
Agar	7 g l ⁻¹
Ormoni	
Kinetina	0,5 mg l ⁻¹
IBA	0,1 mg l ⁻¹

Altro metodo di moltiplicazione impiegato per l'ottenimento di piante da inserire nella carciofaia è stato quello per carducci, prelevati durante la fase di scarducciatura dei genotipi a propagazione vegetativa (cloni maschio-sterili, Bianco di Pertosa, ecc.) quando i carducci si presentavano sufficientemente sviluppati.

Per ridurre la perdita di acqua per traspirazione, i carducci sono stati immediatamente tolettati, eliminando cioè le foglie più esterne e riducendo la lamina fogliare delle foglie rimanenti.

I carducci così preparati sono stati posti a radicare in vasi del diametro di 10 cm. Per facilitare l'emissione delle radici e quindi il rapido accrescimento delle giovani piante, è stato mantenuto un microambiente particolarmente adatto attraverso la copertura con tessuto non tessuto e con interventi irrigui frequenti e con volumi ridotti.

✓ *Selezione di mutanti maschio-sterili*

Al fine di ottenere maschio-sterili per la costituzione di ibridi F₁ adatti alla produzione di acheni per l'estrazione di olio, nel 2008 sono stati impiegati 10 ibridi provenienti da precedenti programmi di ricerca svolti all'Università degli Studi della Tuscia. La scelta degli ibridi impiegati è avvenuta in funzione della produzione di capolini per pianta espressa dagli stessi. Tutti gli ibridi sono stati autofecondati mediante l'utilizzo di pennelli e impiegando reti anti-afide per l'isolamento dei singoli capolini. Una parte dei semi ottenuti dall'autofecondazione è stata seminata in California nel campo sperimentale della Big Heart Seed per un totale di 3 parcelle costituite da 50 piante ciascuna. La vitalità pollinica, delle progenie derivanti dall'autofecondazione degli ibridi, è stata analizzata al microscopio ottico utilizzando come colorante il carminio acetico. Le piante che avevano il polline costituito da tutti i granuli pollinici non colorati sono state classificate come maschio-sterili (fig. 35).

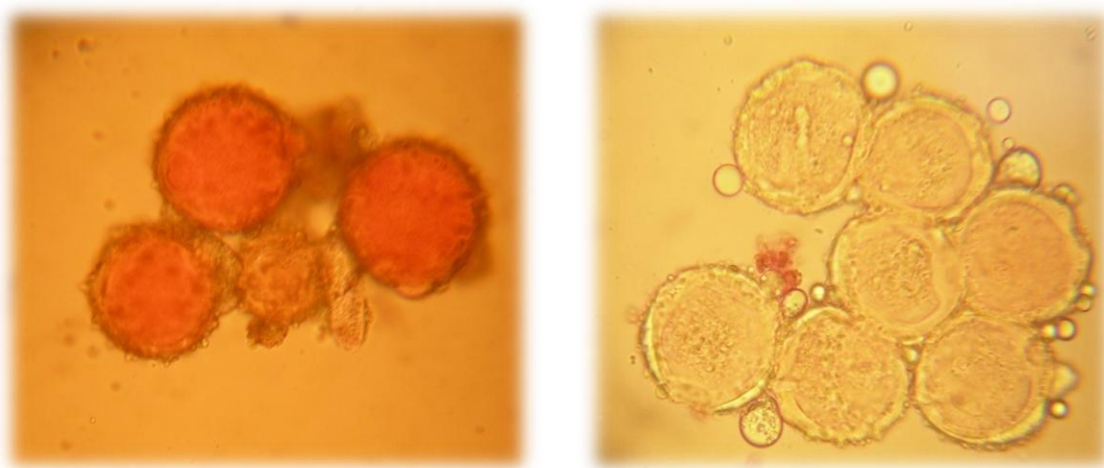


Figura 35 - Polline maschio-fertile (a sinistra) e maschio-sterile (a destra).

Il polline è stato prelevato direttamente in campo sui capolini in piena fioritura con l'ausilio di un pennello.

Nel 2009 in California sono stati autofecondati 5 ibridi provenienti dall'incrocio tra un maschio-sterile di origine italiana (ms6) e 5 linee stabili americane, selezionate per l'elevata produzione di acheni e per la loro uniformità. Le progenie dei 5 ibridi sono state valutate nel 2010 per la vitalità pollinica. Tutti i maschio-sterili sono stati moltiplicati vegetativamente *in vitro* e *in vivo*.

✓ *Selezione e autofecondazione di cloni maschio-fertili (Cerveteri)*

Nel 2008 sono stati selezionati alcuni genotipi di origine italiana in base alla produzione di acheni per pianta. La sperimentazione ha riguardato 6 varietà (cloni) di carciofo molto diffusi nelle regioni cinaricole del nostro Paese: "Bianco di Pertosa", Grato 1, "Tondo Rosso di Paestum", "Violetto di Toscana", Montelupone e "Romanesco-C3". I capolini dei genotipi selezionati sono stati isolati con una rete anti-afide prima della fioritura. Successivamente si è prelevato il polline mantenendolo per alcuni giorni alla temperatura di 4 °C, al fine di autofecondare i fiori dello stesso capolino. A causa della fioritura centripeta, il polline sullo stesso capolino è stato raccolto per diversi giorni sin

dalla comparsa sui fiori più esterni dell'infiorescenza. L'impollinazione è stata effettuata avvalendosi di un pennello una volta al giorno, fino al termine della recettività dello stigma. Dopo circa due mesi dalla fase di fine fioritura sono stati raccolti gli acheni ormai completamente maturi e con un basso contenuto di umidità.

✓ *Selezione e costituzione di varietà (linee e ibridi F_1)*

Alcuni genotipi (9bdg, BN, Cyl, F19, Imperial star, Lulu, Romolo e Toscano), sono stati valutati a Brawley e caratterizzati utilizzando alcuni dei descrittori morfologici CPVO (fig. 36).

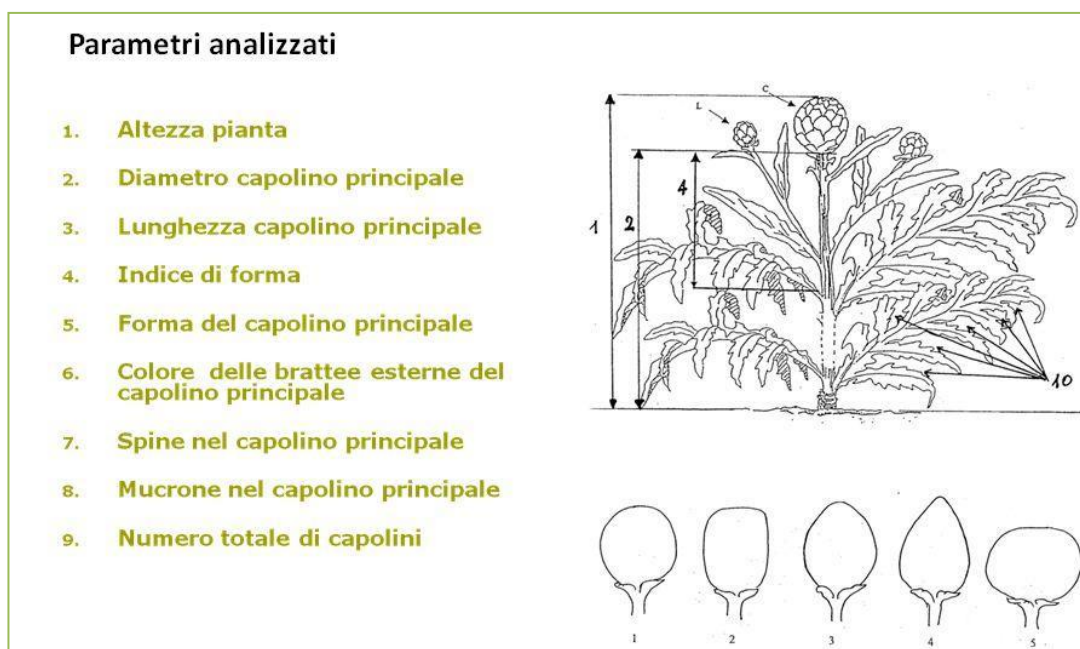


Figura 36 - Descrittori morfologici CPVO utilizzati per il carciofo.

I descrittori CPVO considerati per la valutazione morfo-fisiologica del carciofo sono numerosi (49 descrittori). Per determinare l'uniformità e la stabilità genetica di cloni, linee e ibridi F_1 , realizzati nella presente ricerca, solo alcuni di questi si sono dimostrati adeguati per la determinazione di questi parametri, come è stato già dimostrato da precedenti ricerche condotte in carciofo da altri

autori (Lo Bianco *et al.*). Pertanto, i descrittori CPVO utilizzati in questa ricerca sono stati i seguenti: 1- altezza della pianta (bassa, media, alta); 2- forma del capolino principale (circolare, ellittica, ovale, triangolare e sub-sferica); 3- forma dell'apice del capolino principale (triangolare, rotondo, piatto, concavo); 4- colore del capolino principale (verde, verde con striature viola, viola con striature verdi, viola); 5- presenza di spine sul capolino principale (assenti, medie, grandi); 6- presenza del mucrone sul capolino principale (assente, medio, grande).

La selezione delle linee in prova è stata effettuata in base all'uniformità, alla produzione in capolini e alla produzione di acheni per capolino.

Le linee più interessanti sono state sottoposte a cicli di autofecondazioni, sib-cross e incroci, al fine di ottenere linee uniformi e stabili e ibridi più vigorosi (fig. 37).

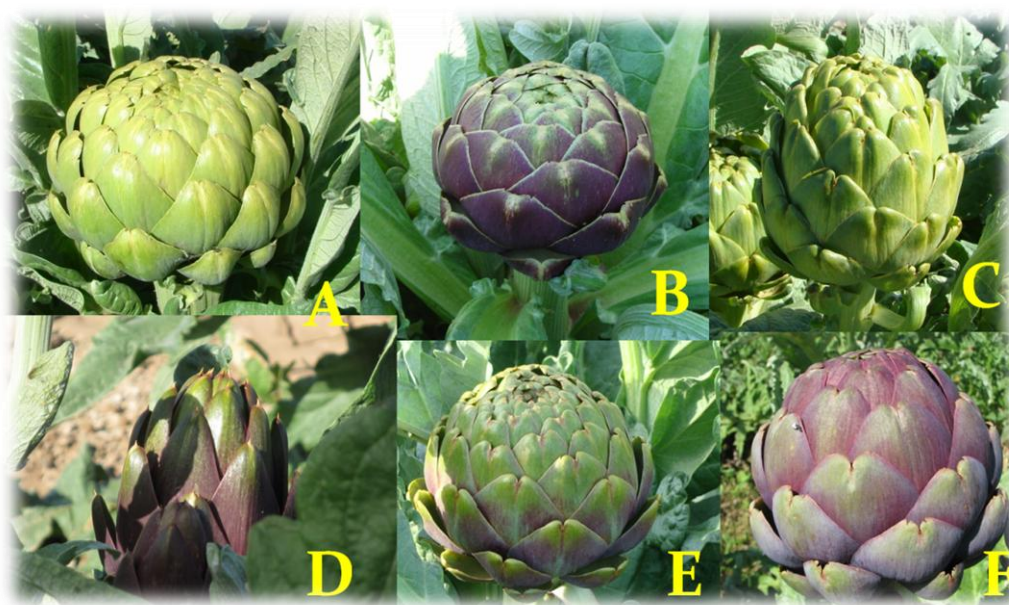


Figura 37 - Alcuni dei genotipi selezionati: F-19 (A); 22bd (B); Bn (C); Toscano (D), Lulu (E); A-35 (F).

L'autofecondazione delle linee selezionate è stata effettuata utilizzando le stesse procedure riportate per il 2008, mentre per l'ottenimento degli ibridi (fig. 38) si sono adottate due diverse tecniche: 1) impollinazione manuale,

prelevando il polline dalle linee maschio-fertili e successiva impollinazione della infiorescenza di cloni maschio-sterili propagati vegetativamente; 2) isolamento, con l'ausilio di una struttura metallica sormontata da una rete anti-afide sia del genitore porta-polline (Mf) che di quello porta-seme (ms), e mettendo all'interno dell'isolatore insetti pronubi (api).

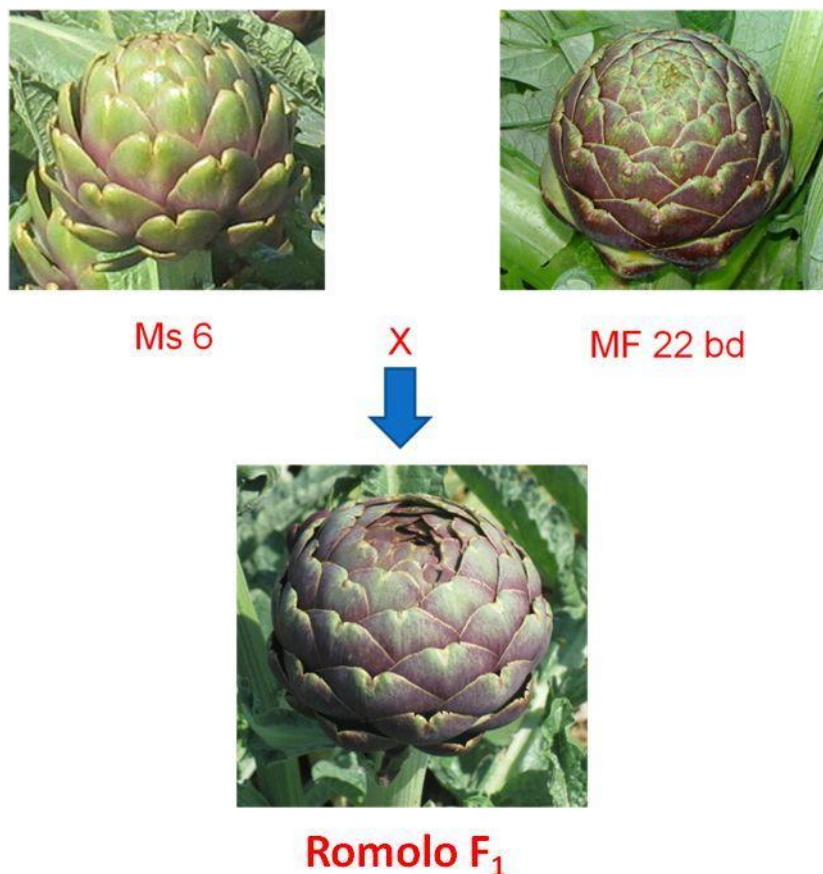


Figura 38 - Linee parentali in alto e ibrido F₁ in basso al centro.

Le varietà (linee e ibridi) costituite nel 2009 sono state valutate utilizzando alcuni descrittori CPVO e sono state analizzate le componenti della produzione di acheni. Le varietà risultate migliori sono state lasciate a libera impollinazione in pieno campo.

2.4.2. Risultati e discussione

I risultati ottenuti nel 2008 a Cerveteri (tab. 14), mostrano una notevole differenza tra la produzione di acheni ottenuta da autofecondazione rispetto a quella proveniente da libera impollinazione. Tutti i capolini autofecondati, indipendentemente dal genotipo, contenevano una quantità di acheni nettamente inferiore rispetto a quelli sottoposti a libera impollinazione. In particolare, relativamente al parametro “numero semi/capolino autofecondazione”, si osserva una maggiore produzione di semi da parte della cultivar Tondo Rosso di Paestum (17 semi/capolino) seguita dalla cultivar Bianco di Pertosa (10 semi/capolino); gli altri cloni hanno offerto quantità notevolmente inferiori. Differenze significative sono state osservate anche per il parametro “numero semi/capolino libera impollinazione”. In questo caso i valori maggiori sono stati ottenuti sempre dalla cv Tondo Rosso di Paestum (274 semi/capolino) ma a pari merito con la cv Bianco di Pertosa (250 semi/capolino), seguiti da Grato 1 (200 semi/capolino) e Violetto di Toscana (155 semi/capolino).

Anche per quanto riguarda la produzione di capolini per pianta ci sono state differenze significative tra i diversi cloni, in particolare, le cv Grato 1 e “Tondo Rosso di Paestum” hanno prodotto rispettivamente 13 e 12 capolini per pianta attestandosi al primo e secondo posto della scala di merito, seguite dalle cv “Bianco di Pertosa” e “Violetto di Toscana” con 11 capolini, mentre valori significativamente più bassi riguardano le cultivar Montelupone e C3 con 10 capolini.

Tabella 14 – Caratteristiche produttive di alcuni cloni di carciofo.

Genotipo	Semi/capolino Autofecondazione (n°)	Semi/capolino Libera impollinazione (n°)	Capolini/pianta (n°)	Semi/pianta Libera impollinazione
Bianco di Pertosa	10 b	250 ab	11 b	2.750 b
Grato 1	4,5 c	200 b	13 a	2.600 b
Tondo Rosso di Paestum	17 a	274 a	12 a	3.288 a
Violetto Toscana	5,3 c	155 bc	11 b	1.705 c
Montelupone	0,4 e	42 d	10 c	420 d
Romanesco-C3	3,4 d	143 c	10 c	1.430 c

A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per $p = 005$ (test di Duncan)

Pertanto, la produzione di semi per pianta è stata influenzata sia dal numero di capolini prodotti che dal numero di semi per capolino. La cultivar “Tondo Rosso di Paestum” ha prodotto il maggior numero di acheni per pianta (3.288 semi); elevate produzioni sono state conseguite anche con le cv “Bianco di Pertosa” e Grato 1, rispettivamente pari a 2.750 e 2.600 semi/pianta, mentre valori notevolmente più bassi si sono avuti con le cultivar: “Violetto di Toscana”, “Romanesco-C3”, “Montelupone”, rispettivamente con 1.705, 1.430 e 420 semi/pianta.

✓ *Caratterizzazione genetica e morfo-fisiologica di mutanti maschio-sterili selezionati in popolazioni F2*

In tabella 15, dove sono riportati i risultati delle autofecondazioni di 10 ibridi effettuate nel 2008 a Viterbo, risulta che soltanto 3 ibridi hanno prodotto semi da autofecondazione. Tale comportamento potrebbe essere collegato alle frequenti piogge che hanno caratterizzato tutto il periodo della fioritura.

Tabella 15 - Produzione di seme proveniente dall' autofecondazione di ibridi F₁ (msx Mf)

Genotipo	Semi per capolino (n°)	Capolini per pianta (n°)	Semi per pianta (n°)
ms9xGrato 1	19	8	152
ms6xGrato 1	14	12	168
ms16xGrato 1	9	14	126
ms6xGrato 1	0	12	0
ms6xGrato 1	0	11	0
ms6xGrato 1	0	12	0
ms6xGrato 1	0	11	0
ms6xGrato 1	0	13	0
ms6xGrato 1	0	12	0
ms6xGrato 1	0	12	0
A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per p = 005 (test di Duncan)			

Nelle progenie F₂, degli ibridi sopra riportati, sono stati identificati 3 maschio-sterili (tab. 16), con un rapporto di segregazione di circa 1:15, ciò potrebbe essere dovuto alla presenza di 2 geni recessivi (base genetica oligogenica) confermando così i dati già riportati da altri autori (Basnizki e Zohary, 1994; Stamignia; Lo Bianco *et al.*).

Tabella 16 - Numero piante maschio-sterili individuate in California nelle progenie F₂

Ibridi F ₁	Piante analizzate (n°)	Piante ms (n°)	Valore atteso	Test X ²	Rapporto di segregazione
Ms9XGrato 1	22	1	1,4	0,16 n.s.	1:22
Ms6XGrato 1	20	1	1,2	0,04 n.s.	1:20
Ms16XGrato 1	11	1	0,7	0,09 n.s.	1:11
A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi per p = 005 (test di Duncan); n.s.=non significativo					

Dai caratteri morfo-fisiologici dei tre maschio-sterili selezionati, riportati in tabella 17, si evince che due possono essere ricondotti alla tipologia Romanesco di cui uno di colore verde (162) e l'altro viola (163) mentre il terzo, essendo caratterizzato da forma allungata, brattee di colorazione antocianica e presenza di spine di medie dimensioni, alla tipologia "Spinoso Sardo".

Tabella 17 - Caratteri fenotipici di piante maschio-sterili selezionate in popolazioni F₂

Maschio-sterili	Colore capolino principale	Forma capolino principale	Spinosità
161	rosso	allungato	spinoso
162	verde	sferica	inerme
163	rosso-verde	sferica	inerme

In tabella 18 sono riportati i risultati relativi all'autofecondazione di quattro ibridi F₁ (Sami, Misa, Lulu, Big Red).

Tabella 18 - Autofecondazione degli ibridi per la ricerca di maschio-sterili

Ibrido F ₁	N°semi/capolino	N°capolini/pianta	Semi/pianta
Sami	10	13	130
Misa	9	11	99
Lulu	11	8	88
Big Red	18	12	216

Tutti e quattro gli ibridi, sottoposti ad autofecondazione, hanno prodotto modeste quantità di seme per capolino ma una buona quantità di capolini/pianta; pertanto, hanno prodotto una discreta quantità di seme per pianta (tab. 18) che è infatti oscillata tra 216 (Big red) e 88 semi/pianta (Lulu).

Dalle progenie degli ibridi sopra riportati, sono stati individuati 13 maschio-sterili (tab. 19): 4 dal Sami, 3 dal Misa, 3 da Lulu e 3 da Big Red (fig. 39). Il rapporto di segregazione è stato di: 1:12,5 per il Sami; 1:16,6 per il Misa; 1,18 per Lulu; 1,15 per Big Red; con una media di circa 1:15 (ms:Mf).



Figura 39 - Alcuni dei maschio-sterili identificati in popolazioni F_2 .

Anche in questo caso, la segregazione di piante candidate come nuovi mutanti maschio-sterili selezionate in ambiente diverso da quello italiano, confermano ulteriormente il controllo oligogenico del suddetto carattere.

Tabella 19 - Maschio-sterili selezionati da progenie provenienti da autofecondazione di ibridi F_1

Progenie degli Ibridi F_1	Piante analizzate (n°)	Maschio-sterili (n°)	Valore atteso (n°)	Test χ^2	Rapporto di segregazione
Sami	50	4	3,1	0,2 n.s.	1:12,5
Misa	50	3	3,1	0,003 n.s.	1:16,6
Lulu	55	3	3,43	0,06 n.s.	1:18
Big Red	45	3	2,81	0,01 n.s.	1:15

✓ *Valutazione morfo-fisiologica di linee e ibridi F₁*

In tabella 20 sono riportate le componenti della produzione delle linee in prova nel 2009. Come si può vedere l'analisi statistica ha evidenziato differenze significative tra i diversi genotipi per tutte e tre i parametri considerati. Le migliori linee riguardo la produzione di capolini per pianta sono F-19 Red e BN 22-2 con circa 14 capolini a pianta seguite da F-19 OP e F-19 #6 con circa 12,5 capolini, mentre la produzione più bassa si è avuta con la linea F-19 cxl e 9bdg con circa 9 capolini; tutte le altre linee hanno prodotto una media di 11,5 capolini a pianta per cui si sono attestate su un livello produttivo intermedio.

Anche per il parametro "numero di semi per capolino" sono emerse differenze statisticamente significative. I valori sono variati tra 460 e 108 semi a capolino con una media di 224 semi. Le linee più produttive sono risultate: F19 Red, F-19 #6 e Toscano che hanno prodotto rispettivamente 420, 460 e 374, mentre F-19 cxl e F-19 #11 attestandosi su 110 semi a capolino sono risultate le meno produttive.

Il peso medio di 100 semi è stato 4,26 g ed è variato da un minimo di 3,4 g per F-19 17-1 ad un massimo di 5,61 g per Cyl.

Tabella 20 - Produzione di acheni di carciofo delle linee selezionate nel 2008 e in coltivazione nel 2009 (California)

Linee	capolini/pianta (n°)	semi/capolino (n°)	Peso medio 100 semi (g)	Produzione di seme (t/ha)
BN #9	11,00	133	3,62	0,53
BN 22-2	14,30	181	3,65	1,80
F-19 Red	14,90	420	4,36	2,73
F-19 CXL	9,20	108	4,18	0,42
F-19 17-1	11,50	237	3,40	0,93
F-19 #11	11,50	115	3,68	0,49
F-19 #6	12,10	460	3,73	2,08
9bdg	8,60	216	3,78	0,70
WhiteBloomer#1	10,70	157	4,33	0,73
White Bloomer #5	12,00	146	4,81	0,85
F-19 OP1	12,80	142	4,65	0,85
Toscano	11,00	374	5,31	2,18
CYL	12,01	78,6	5,61	0,53
Imp.star	12,21	154	4,62	0,87
A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi (test di Duncan); * =significativo per p=0,05; **=significativo per p=0,01; n.s.=non significativo.				

Per quanto riguarda la produzione di acheni (fig. 40) ad ettaro, le differenze tra le linee sono risultate statisticamente significative; la migliore linea è risultata l’F-19 Red (2,73 t ha⁻¹), seguita a pari merito da Toscano (2,18 t ha⁻¹) e F-19 #6 (2,08 t ha⁻¹) e quindi da BN 22-2 (1,80 t ha⁻¹); le altre linee hanno prodotto tutte meno di 1 tonnellata a ettaro risultando quindi poco adatte alla produzione di olio.

In generale le linee che hanno prodotto di più presentano anche un buon numero di capolini per pianta e un alto numero di semi per capolino, mentre non sembra esserci relazione tra il peso medio del seme e la produzione di granella.

In tabella 21 dove sono riportati i dati relativi alla produzione di acheni del 2010, si nota che le varietà più produttive sono risultate: Toscano (linea), Lulu (ibrido) e F19-Red (linea) con oltre 3,5 t ha⁻¹ di acheni; inoltre si sono distinti anche l’ibrido “Big Red” e la linea BN con rese di circa 3 t ha⁻¹; la linea Cyl è risultata essere la meno produttiva con 0,72 t ha⁻¹.

Il numero di capolini per pianta è stato molto elevato per BN, F-19 Red, Lulu e Romolo con circa 15 capolini, valori leggermente inferiori si sono avuti per Imperial Star, Toscano e Cyl con circa 12 mentre 9bdg con solo 9 capolini.

Tabella 21 - Produzione di granella dei genotipi in prova nel 2010 (California)

Linee e ibridi F ₁	Capolini/pianta (n°)	Semi/capolino (n°)	Peso medio 100 semi (g)	Produzione di granella (t/ha)
BN	15,2	431	4,56 b	2,99 c
F-19 Red	15,5	492	4,91 ab	3,75 b
9bdg	9,2	421	5,11 a	1,98 d
Toscano	13,3	597	5,31 a	4,13 a
CYL	12,6	111	5,12 a	0,72 d
Imp.star	12,5	200	4,83 ab	1,21 e
Lulu (msxMf)	16,1	445	5,53 a	3,80 b
Romolo	14,2	398	5,51 a	3,12 c
A lettere differenti corrispondono valori statisticamente diversi (test di Duncan); * =significativo per p=0,05; **=significativo per p=0,01; n.s.=non significativo.				

Quasi tutte le varietà hanno prodotto più di 400 semi per capolino eccetto “Imperial star” e “Cyl” che si sono invece attestate rispettivamente su valori di 200 e 111 semi per capolino. Il peso medio di 100 semi è risultato pari a 5,11 g ed è oscillato da un minimo di 4,56 g (Bn) ad un massimo di 5,53 g (Lulu).



Figura 40 - Fioritura di alcuni dei genotipi selezionati [F19 Red (A), Toscano (B), LuLu (C), Brawley North (D), Cyl (E), 9BDG (F)].

- ✓ *Valutazione mediante alcuni descrittori CPVO dell'uniformità morfo-fisiologica di varietà (linee e ibridi F1) costituite e selezionate per caratteri agronomici importanti nell'ambito della ricerca (2008-2009).*

I risultati dell'analisi del materiale vegetale selezionato è stato valutato per uniformità morfo-fisiologica tramite alcuni descrittori CPVO. Di seguito sono riportati i commenti e le relative schede descrittive delle varietà analizzate (1-8).

Scheda n.1

L'F-19 Red è una delle migliori linee in prova per caratteristiche produttive e qualitative, mentre per quanto riguarda l'uniformità evidenzia ancora una certa

quota di variabilità, come si può notare dagli istogrammi: altezza pianta; forma dell'apice del capolino principale; presenza di spine sul capolino principale.

Il lavoro di selezione svolto ha comunque dato degli ottimi risultati per quanto riguarda la forma del capolino principale e il colore del capolino principale.

Scheda n.2

La cultivar Imperial star ha mostrato buoni livelli di uniformità; si tratta di una varietà poco vigorosa, con più dell'80% di piante a taglia bassa. La forma del capolino è per circa il 63 % degli individui di forma sferica e per circa il 28 % a forma sub-sferica. La forma dell'apice del capolino presenta ottimi livelli di uniformità risultando per l'88 % a forma rotonda. Il colore è particolarmente uniforme con il 100 % di capolini completamente verdi di cui solo il 10 % presentano una colorazione leggermente antocianica alla base di alcune brattee del capolino. La presenza di spine è molto variabile; poco più della metà degli individui presenta spine di piccole dimensioni mentre il 40 % è inerme. Il mucrone è generalmente assente, difatti solo il 10 % degli individui presenta un mucrone di piccole dimensioni.

Scheda n.3

L'ibrido F_1 Lulu ha mostrato degli ottimi risultati dal punto di vista dell'uniformità di tutti i caratteri analizzati. Le frequenze più alte rilevate per ogni carattere analizzato sono risultate sempre superiori all'84%, dimostrando un'ottima omogeneità di questo ibrido. Le piante sono mediamente vigorose, con un capolino di colore violaceo di tipologia "Romanesco"; la forma dell'apice del capolino è leggermente concava. Circa il 90% dei capolini sono inermi mentre il restante 10% presenta spine di piccole dimensioni. Meno del 3% delle piante presentavano capolini mucronati.

Scheda n.4

L'ibrido F₁ Romolo è risultato molto simile all'ibrido F₁ Lulu per tutti i caratteri analizzati eccezion fatta per la precocità di raccolta che è risultata rispetto a questo ibrido di circa 15 giorni più tardiva.

Scheda n.5

La linea BN ha mostrato buoni livelli di uniformità solo per alcuni caratteri; è una varietà poco vigorosa, con circa il 90 % di piante a taglia bassa; circa il 65% degli individui presenta la forma del capolino sferica mentre il 30% si caratterizzano la forma sub-sferica. La forma dell'apice del capolino è molto variabile essendo per il 67% di tipo rotondo, il 19% concavo, l'11% piatto e il 3% acuto. Il colore è molto stabile con il 100% di capolini verdi di cui solo il 10% presentano colorazione leggermente antocianica alla base del capolino. La presenza di spine è molto variabile: il 38% degli individui presenta spine di piccole dimensioni mentre il 58% è inerme, solo il 4% presenta spine di grandi dimensioni. Il mucrone è generalmente assente e soltanto il 6% degli individui presenta un mucrone di piccole dimensioni.

Scheda n.6

L'uniformità della linea Cyl è molto elevata per tutti i caratteri analizzati, eccetto per il carattere della spinosità, dove le piante inermi sono circa il 65% mentre il 30% presentano piccole spine. La pianta è di medie dimensioni, con capolini verdi di tipo allungato, la forma dell'apice del capolino è acuta e il mucrone è assente.

Scheda n.7

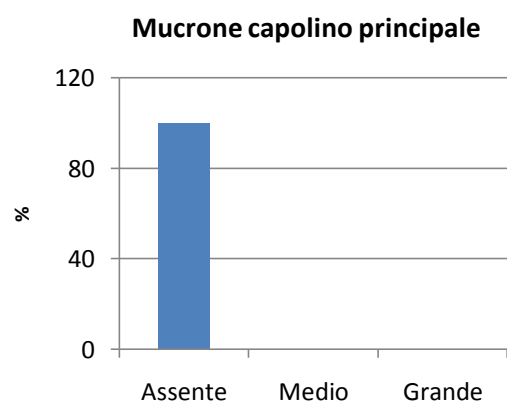
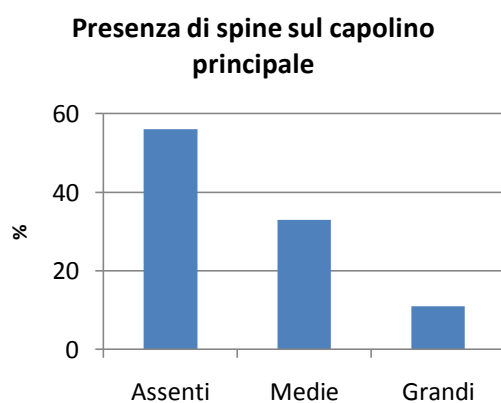
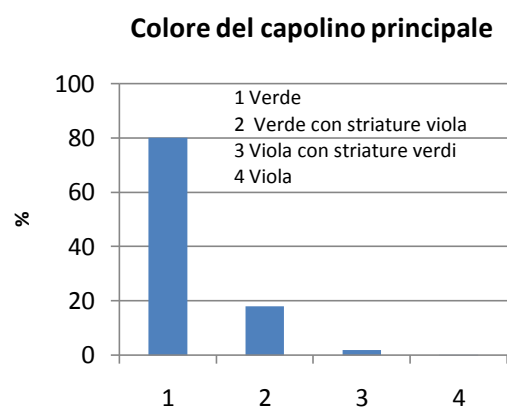
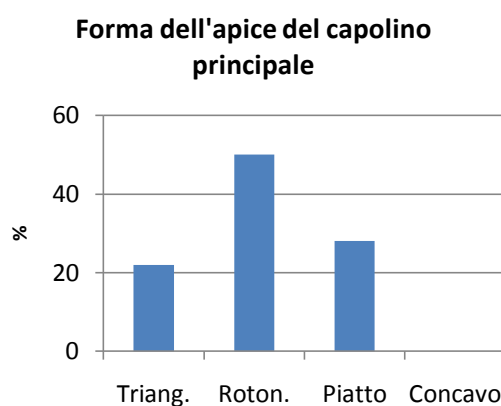
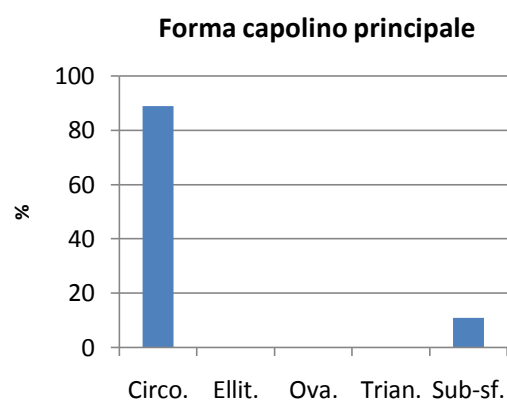
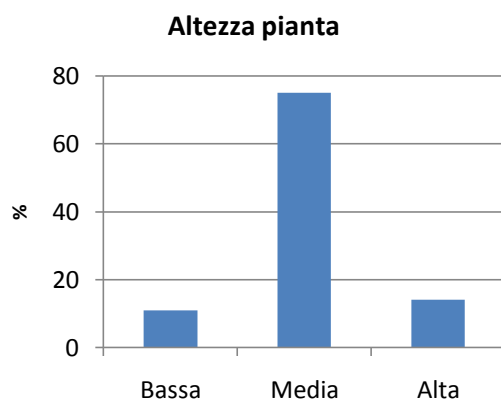
9bdg è da considerarsi tra le linee in prova una delle più uniformi e stabili. L'unico carattere che presenta una certa variabilità è la forma del capolino principale, dove le forme presenti nella linea sono 2: circolare, per circa il 70% degli esemplari; sub-sferica, per il rimanente 30%. Le altre caratteristiche sono molto uniformi e presentano valori delle classi più frequenti di oltre 80%.

Scheda n.8

La linea Toscano presenta in generale una buona uniformità per la maggior parte dei parametri analizzati, una elevata variabilità è stata riscontrata per il carattere "altezza della pianta" in quanto le piante "fuori tipo" rappresentavano circa il 30%.

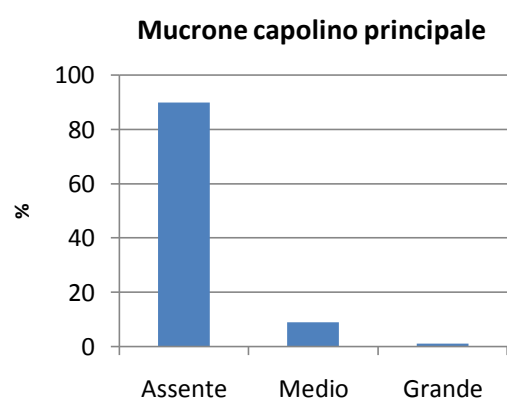
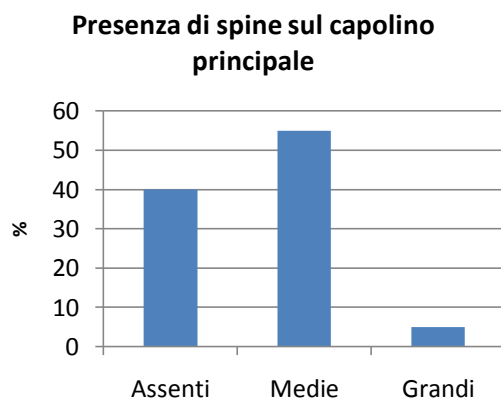
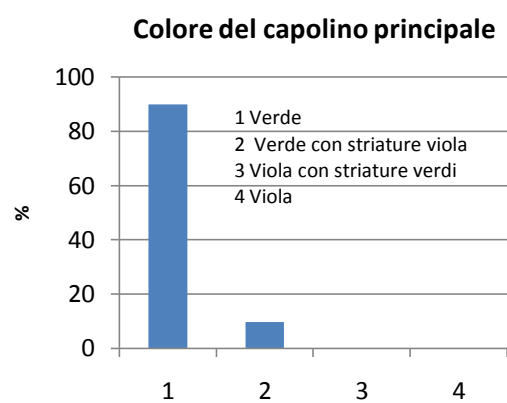
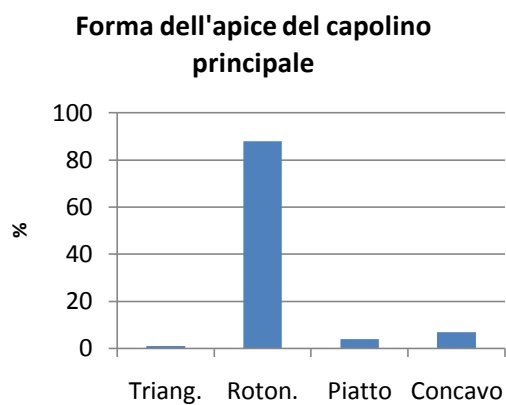
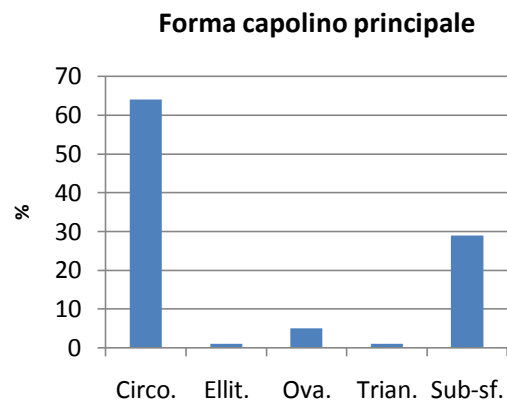
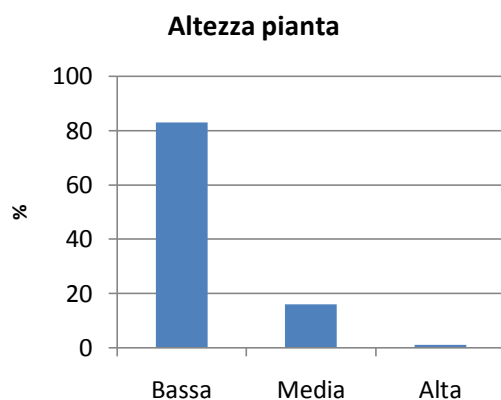
Scheda n. 1

F19 Red (linea)



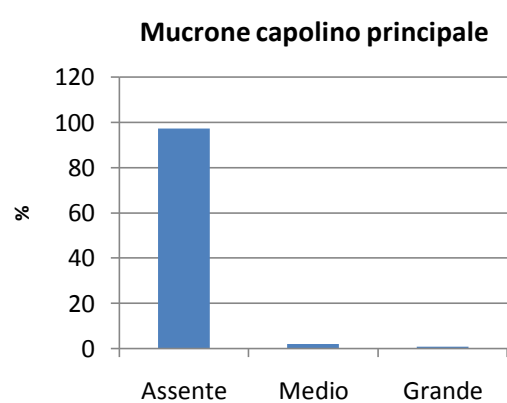
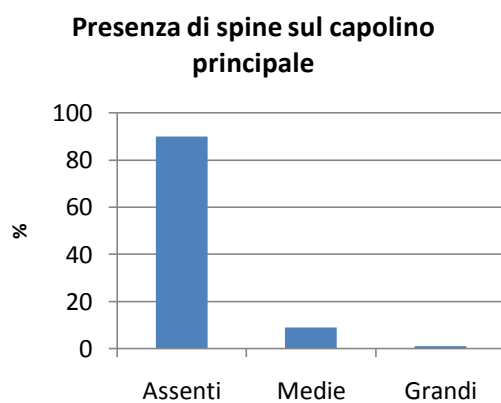
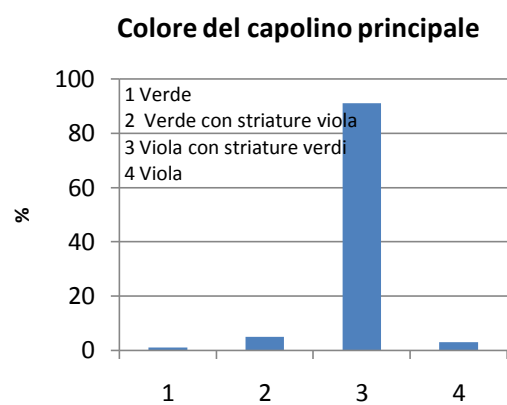
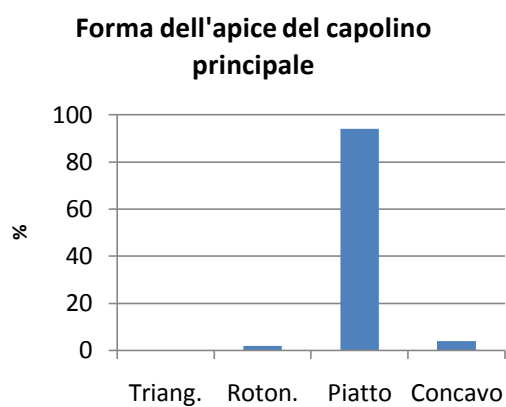
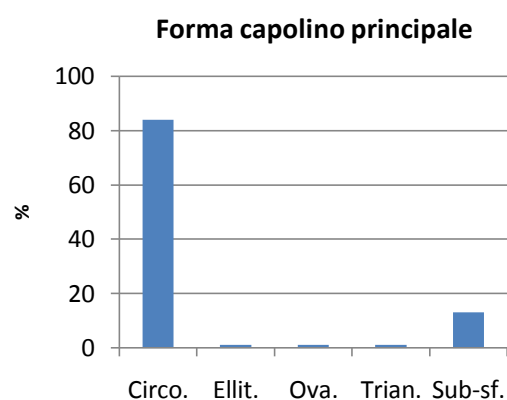
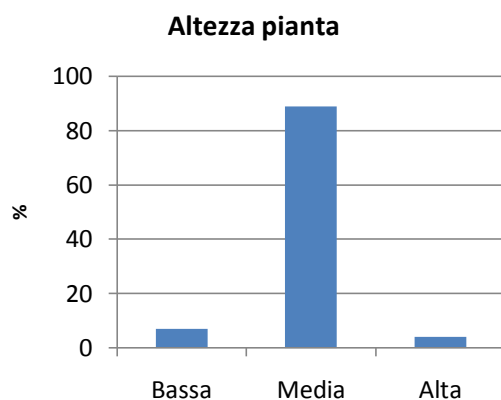
Scheda n. 2

Imperial star (cultivar)



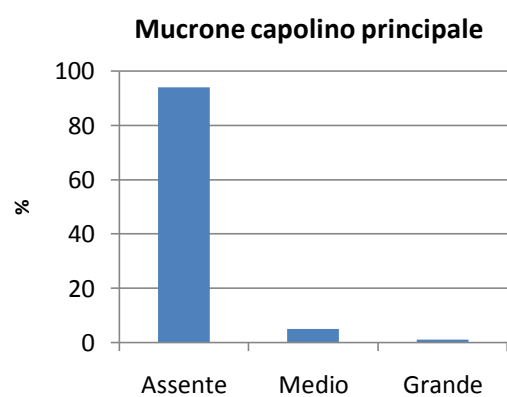
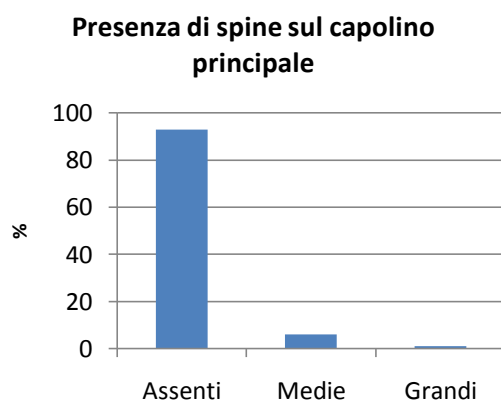
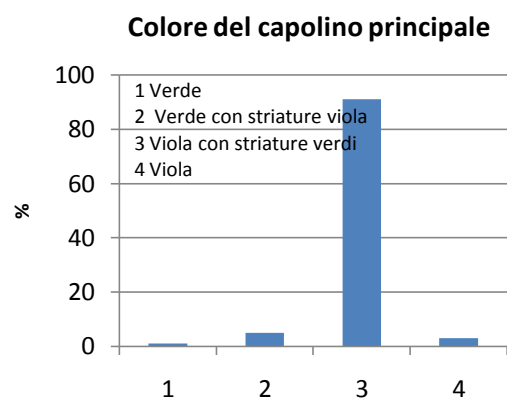
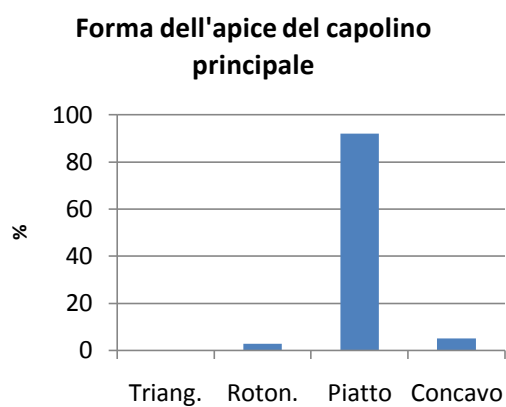
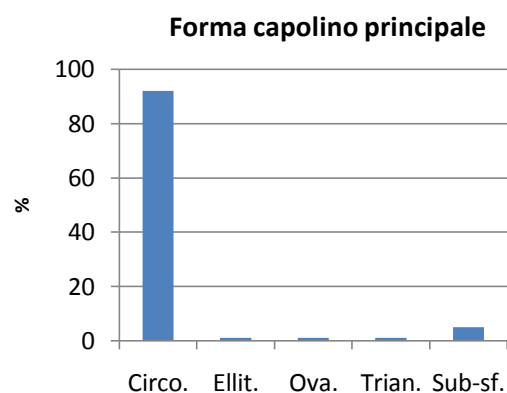
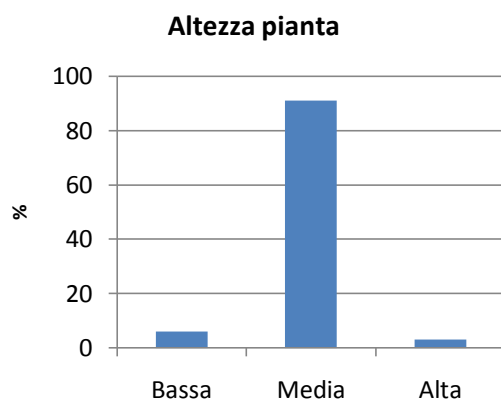
Scheda n. 3

Lulu (Ibrido F₁)



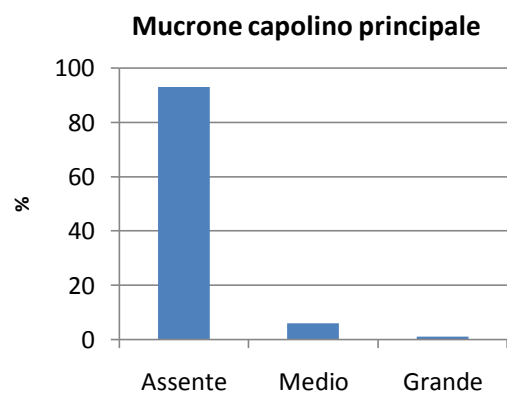
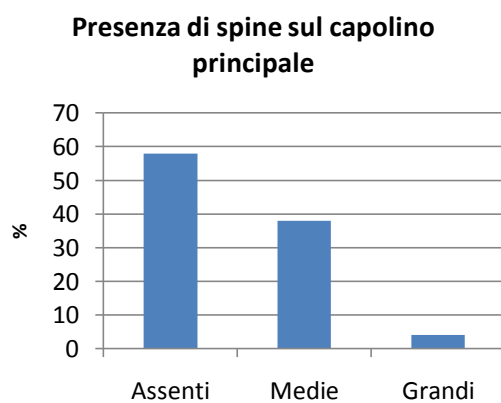
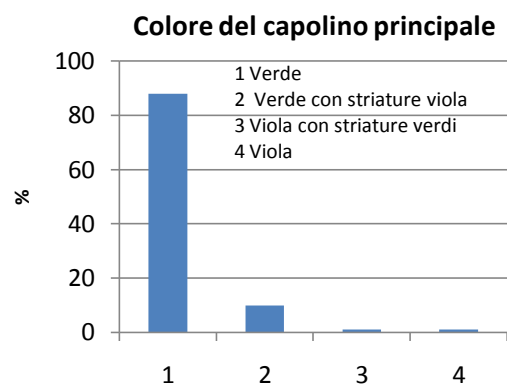
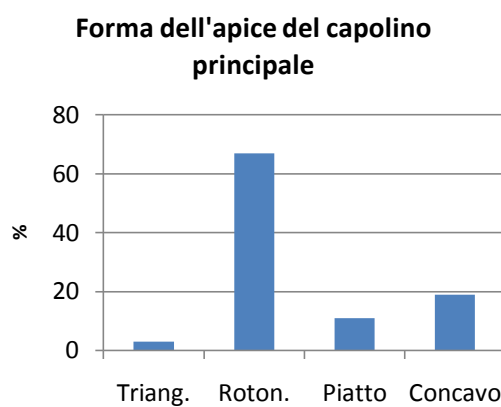
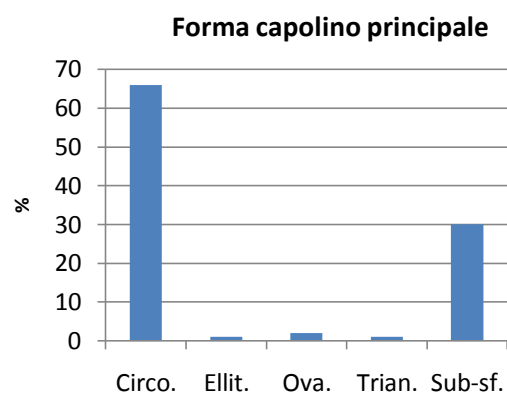
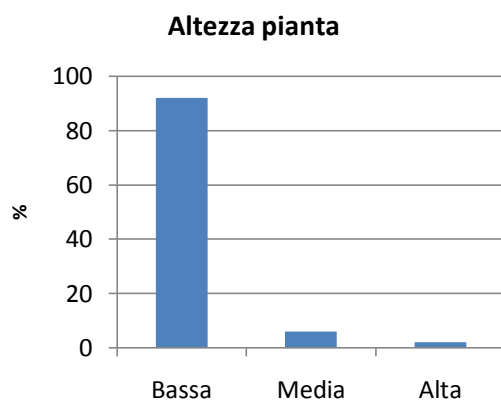
Scheda n. 4

Romolo (Ibrido F₁)



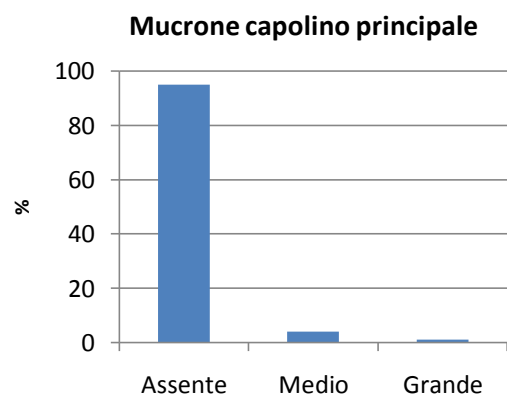
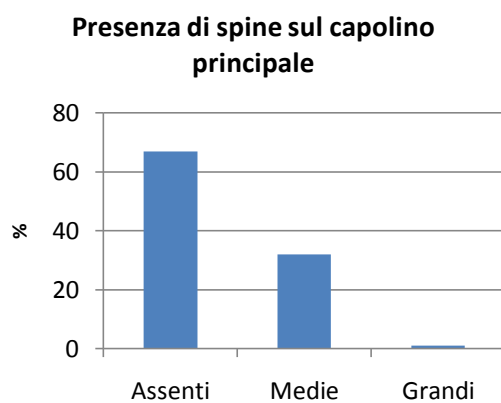
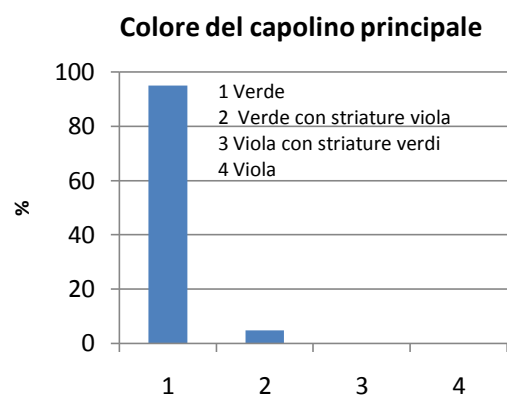
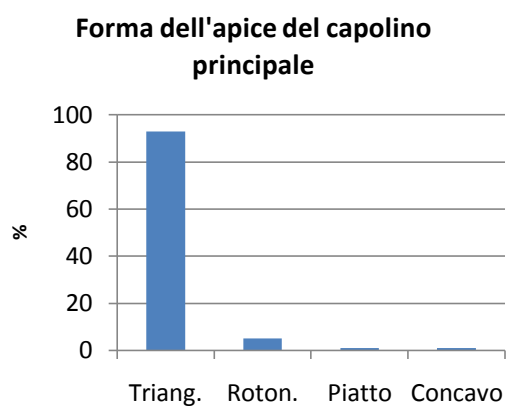
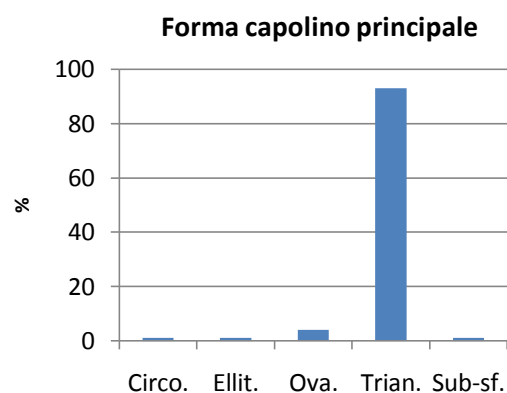
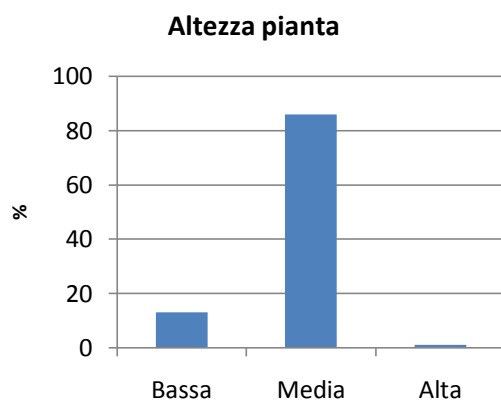
Scheda n. 5

Brawley North (linea)



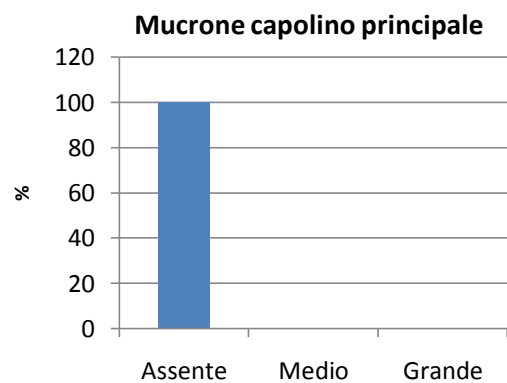
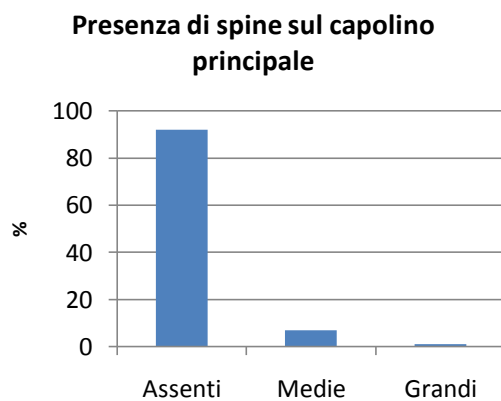
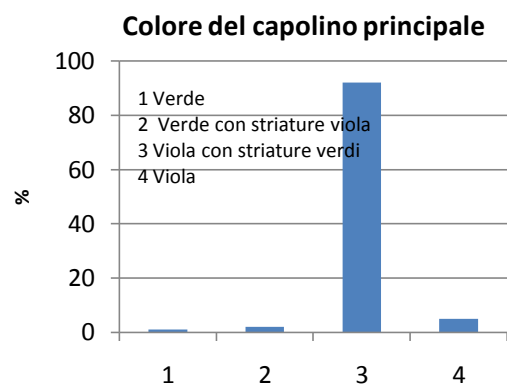
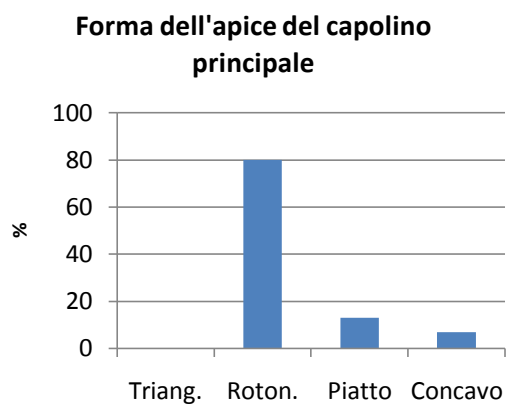
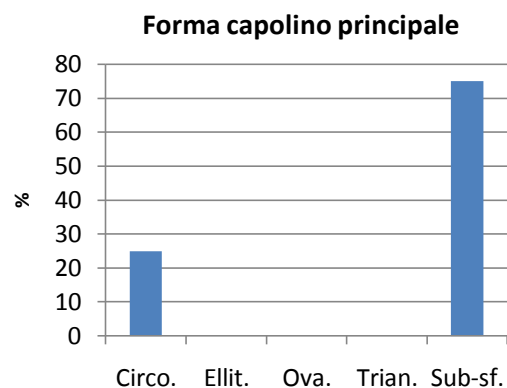
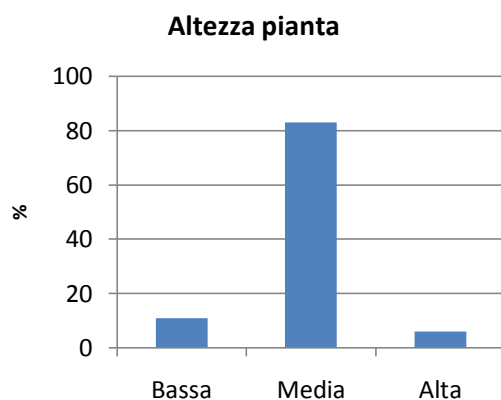
Scheda n. 6

Cyl (linea)



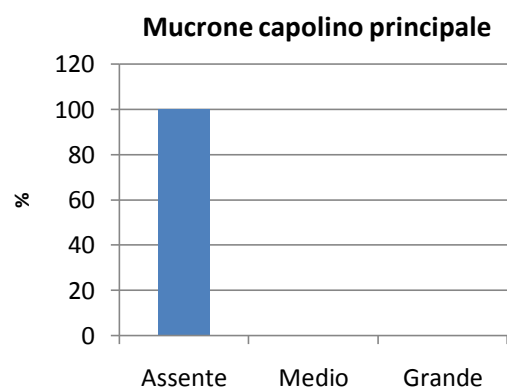
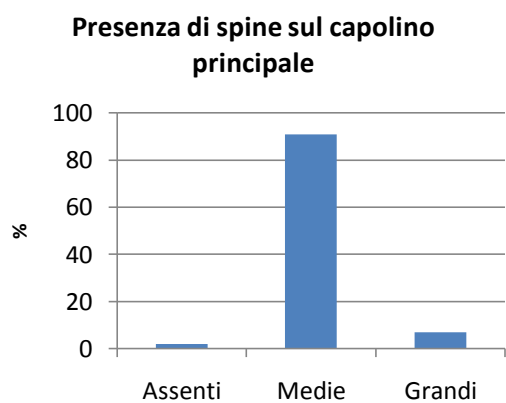
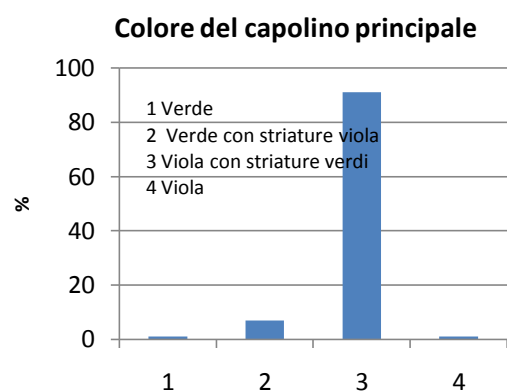
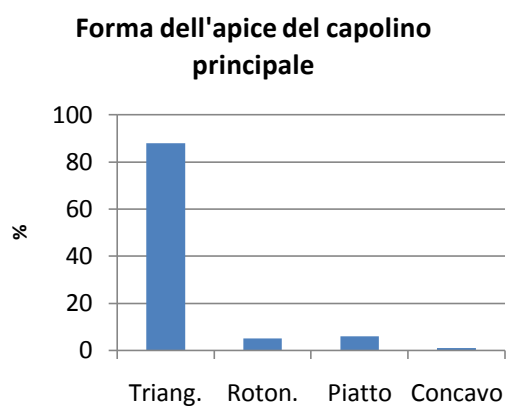
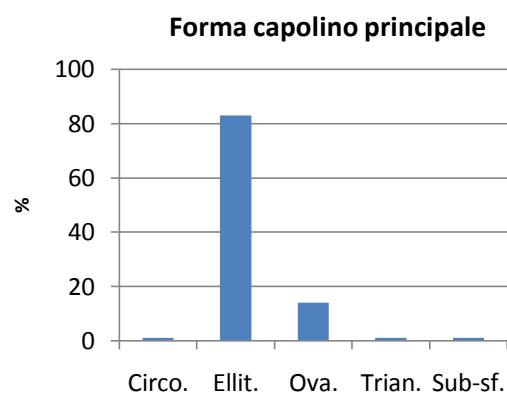
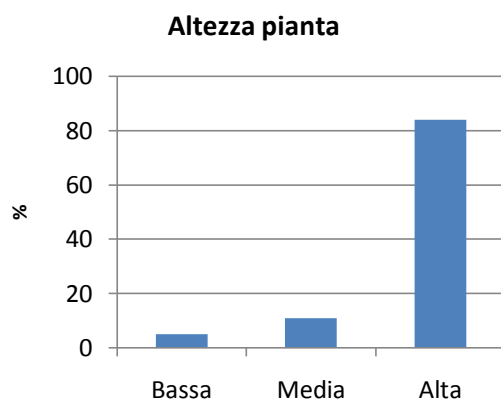
Scheda n. 7

9bdg (linea)



Scheda n. 8

Toscana (linea)



2.5. Caratteristiche quali-quantitative dell'olio di semi dei genotipi in prova

2.5.1. Premessa

La produzione di olio estratto da semi e da frutti oleosi e dei loro prodotti di trasformazione ha subito un incremento notevole a partire dagli anni '50 del secolo scorso, sia per l'aumentata domanda di grassi alimentari in genere, sia per la richiesta di grassi di origine vegetale da parte delle popolazioni che, per abitudini alimentari, motivi climatici o religiosi, non utilizzano grassi di origine animale. La tendenza attuale volge verso una graduale sostituzione dei grassi di origine animale con quelli di origine vegetale nelle diete delle diverse popolazioni, anche nei Paesi che tradizionalmente consumano grassi animali in modo predominante.

Gli oli vegetali sono costituiti da più classi di composti che sono diversamente rappresentati in funzione dell'origine botanica della materia prima utilizzata.

Gli oli di semi presentano una composizione in acidi grassi molto diversa tra loro. Generalmente risultano caratterizzati da un elevato tenore di acidi grassi polinsaturi a 18 atomi di carbonio con 2 o 3 doppi legami, quali l'acido linoleico (C18:2) e l'acido linolenico (C18:3). Questi due acidi grassi sono i capostipiti, rispettivamente, della famiglia $\omega 6$ e $\omega 3$; sono acidi grassi essenziali e quindi devono essere assunti con la dieta, dal momento che gli organismi animali al contrario di quelli vegetali, non sono in grado di sintetizzarli. Sono i principali componenti dei fosfolipidi delle membrane cellulari con funzioni strutturali e, oltre a svolgere un ruolo fondamentale per la crescita, sono i precursori di composti fondamentali con proprietà simil-ormonali, quali le prostaglandine (PG), le prostacicline (PGI), i trombossani (TX) e i leucotrieni (LT).

Se da un lato gli acidi grassi polinsaturi sono importanti ai fini metabolici, dall'altro mostrano una scarsa resistenza all'ossidazione in quanto si ossidano molto più velocemente degli acidi grassi monoinsaturi e saturi.

La minore stabilità degli oli di semi nei confronti dell'ossidazione va tenuta presente, non solo per quanto riguarda la loro conservabilità, ma anche per quanto riguarda l'utilizzo, sia nella tecnologia industriale, sia in quella domestica di frittura e di cottura dei cibi. In linea generale è possibile affermare che, anche se nella tecnologia domestica di frittura la scelta del bagno d'olio dovrebbe ricadere su oli meno insaturi e quindi con un minor contenuto di acidi grassi polinsaturi, come ad esempio quelli ottenuti dalle olive, l'utilizzo di altri tipi di oli non porta ad eccessivi inconvenienti a patto che lo "stress" termico sia di breve durata e che il bagno di frittura non sia riutilizzato.

In funzione dell'origine, gli oli e i grassi vengono divisi in due gruppi: quelli vegetali e quelli animali. Gli oli e i grassi di origine vegetale vengono ulteriormente divisi in oli che derivano dai frutti, oli che si ottengono dai semi e oli che si ricavano dall'estrazione dei sottoprodotti dell'industria enologica, conserviera, amidacea e tessile. Fanno parte del primo gruppo gli oli di cocco, di oliva e di palma; nel secondo gruppo rientrano gli oli di arachide, di cacao, di colza, di cartamo, di girasole, di palmisti, di soia e di carciofo; appartengono al terzo gruppo gli oli di vinaccioli, di pomodoro, di mais e di cotone. Quelli di origine animale vengono suddivisi in grassi provenienti da animali terrestri: sego, burro e strutto, e oli e grassi provenienti da animali marini: olio di pesce, di balena e di fegato di merluzzo.

Tutti gli oli, ad eccezione dell'olio vergine di oliva, prima del loro impiego, sia per scopi alimentari che per scopi industriali, vengono sottoposti ad una serie di processi tecnologici che nell'insieme prendono il nome di raffinazione o rettificazione. L'obiettivo del processo è di rendere commestibile l'olio. Il processo della raffinazione consiste in più fasi tecnologiche strettamente

collegate tra loro: degommazione, deacidificazione, decolorazione, demargarinazione e deodorazione.

L'obiettivo della degommazione è quello di eliminare le mucillagine, e si esegue riscaldando l'olio a 70-80 °C in un miscelatore e aggiungendo acido solforico all'1-2%, dopo un certo tempo di mescolamento l'emulsione, viene sottoposta a centrifugazione per il recupero dell'olio degommato. L'obiettivo della deacidificazione è quello di ridurre sotto allo 0,5% il contenuto in acidi grassi liberi, espresso in acido oleico. L'abbassamento dell'acidità può essere effettuato sia con mezzi chimici che fisici. La scelta è condizionata dalla quantità degli acidi grassi liberi presenti nell'olio. Generalmente per oli con acidità libera inferiore al 10%, la deacidificazione viene effettuata mediante neutralizzazione con idrossido di sodio (NaOH).

Lo scopo della demargarinazione è di rendere stabile l'olio nei confronti della cristallizzazione a 6-7 °C.

La decolorazione serve ad eliminare l'eccesso di pigmenti presenti nell'olio (clorofilla, caroteni ecc.) che conferiscono al prodotto una colorazione indesiderata. Con la deodorazione vengono eliminate alcune sostanze volatili organoletticamente indesiderate. Gran parte di queste sostanze derivano dai prodotti di ossidazione, o comunque dalle prime fasi del processo di raffinazione. In numerosi semi i lipidi sono composti importanti di accumulo di carbonio ridotto. I grassi e gli oli appartengono alla classe generale dei lipidi, un gruppo strutturalmente diverso di composti idrofobi, che sono solubili in solventi organici e altamente insolubili in acqua. Essi rappresentano una forma di carbonio più ridotta di quello contenuto nei carboidrati, così l'ossidazione completa di un grammo di grasso o di olio può produrre considerevolmente più ATP dell'ossidazione di un grammo di amido. Al contrario, la biosintesi di grassi, oli e molecole affini, richiede un investimento corrispondentemente più alto di energia metabolica.

I grassi e gli oli sono presenti principalmente sotto forma di trigliceridi, in cui le molecole degli acidi grassi, sono legate attraverso l'esterificazione con tre gruppi ossidrilici del glicerolo. Gli acidi grassi dei vegetali sono normalmente acidi carbossilici a catena lineare, contenenti un numero pari di atomi di carbonio.

Gli oli sono liquidi a temperatura ambiente, fatto principalmente dovuto alla presenza di un determinato numero di legami insaturi nella loro componente acido grassa, mentre i grassi sono solidi, perché possiedono una maggiore proporzione di acidi grassi saturi. La composizione percentuale degli acidi grassi contenuti nei lipidi vegetali varia da specie a specie ed anche tra le diverse varietà all'interno della stessa specie. I trigliceridi, nella maggior parte dei semi, sono accumulati sia nel citosol dei cotiledoni che nelle cellule dell'endosperma, in organuli che vengono detti oleosomi (chiamati anche corpi lipidici o sferosomi). La sintesi dei trigliceridi è portata a termine da enzimi che si trovano nel reticolo endoplasmatico (ER) e i grassi che ne risultano si accumulano tra i due monostrati del doppio strato di membrana dell'ER. Durante la germinazione i lipidi possono essere convertiti in zuccheri. Le piante non sono in grado di trasportare i grassi ai tessuti della radice e del germoglio, così esse devono convertire i lipidi accumulati in una forma di carbonio più mobile, generalmente il saccarosio. Questo processo coinvolge numerosi passaggi localizzati in compartimenti cellulari differenti: oleosomi, gliossisomi, mitocondri e citosol. Il processo di conversione dei lipidi in zuccheri nei semi oleaginosi è scatenato dal fenomeno della germinazione che inizia con l'idrolisi dei trigliceridi accumulati negli sferosomi in acidi grassi liberi, seguito poi dalla degradazione ossidativa degli acidi grassi per produrre acetil CoA. L'acetil CoA è metabolizzato nel gliossisoma attraverso il ciclo dell'acido glicossilico per produrre acido succinico, che viene poi trasportato dal gliossisoma verso il mitocondrio, dove è ulteriormente metabolizzato per formare acido ossalacetico. Il processo termina nel citosol con la conversione dell'acido ossalacetico in glucosio tramite la gluconeogenesi, per diventare poi saccarosio [63].

2.5.2. Materiali e metodi

✓ Analisi effettuate

Di tutti i genotipi in prova (tab. 22) sono stati determinati: il profilo degli acidi grassi (fig. 41), la percentuale di grassi totali e il contenuto di tocoferoli e luteina

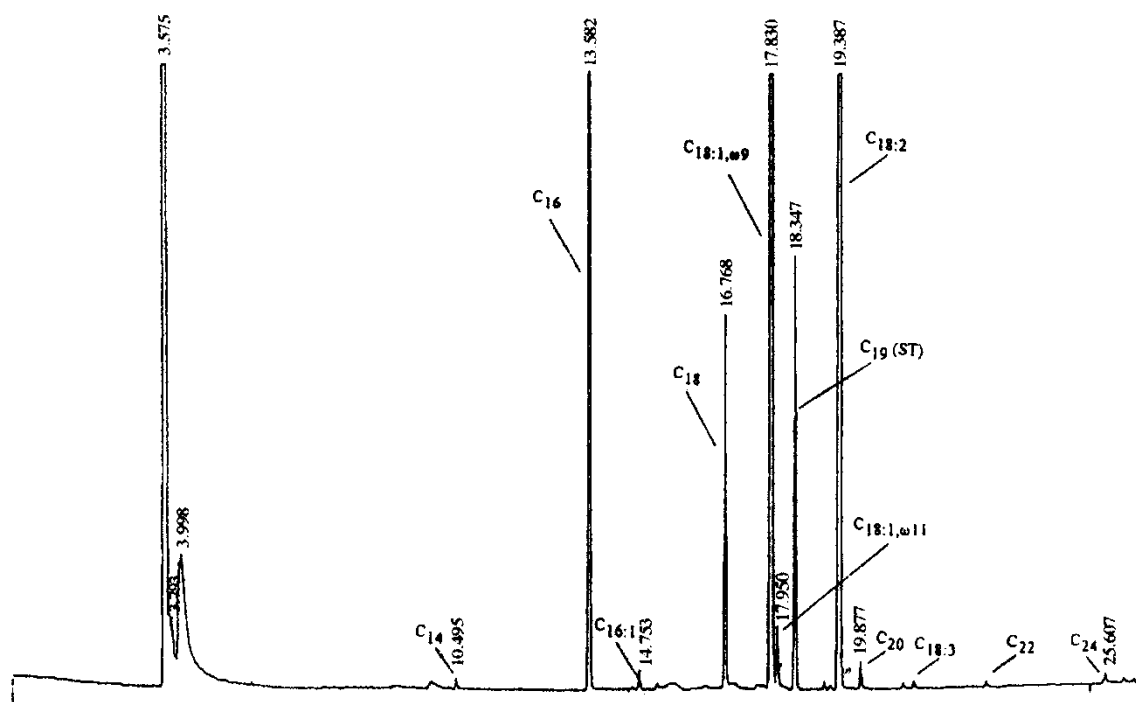


Figura 41 - Tipico gascromatogramma relativo al profilo degli acidi grassi in carciofo. [43]

Tabella 22 – Linee analizzate per contenuto e qualità dell'olio

Specie	Linea	Sigla
Cardiofo	22BD	22BD
	Brawley North	BN
	Cyl	Cyl
	F 19	F-19
	Withe bloomer	WB
Cardo coltivato	Vert de Provence	VP
	Belgio	Be
	Bianco avorio	Ba
	Siena	S
Cardo selvatico	Cerveteri	Sa
	Tarquini	T

Per la determinazione del profilo degli acidi grassi è stato utilizzato il seguente metodo. Per ogni campione sono stati macinati finemente 10 grammi di semi. Del materiale ottenuto sono stati presi 2 grammi e messi a mollo per 12 ore con una soluzione di cloroformio e metanolo nel rapporto di 2:1, i campioni sono stati agitati con il vortex per 2 minuti. Il materiale vegetale è stato filtrato con la carta da filtro e l'aggiunta del sodio solfato anidro per eliminare l'acqua presente nel campione, poi si è fatto evaporare il solvente a secco sotto azoto utilizzando una piastra riscaldata. Il liquido così ottenuto è stato mantenuto a -20 °C fino al momento delle analisi degli acidi grassi. Il profilo degli acidi grassi esterificati è stato determinato con il gascromatografo.

Il metodo di estrazione dei carotenoidi utilizzato è quello riportato da Sharpless et al 1999. I campioni sono stati macinati utilizzando un macinino refrigerato, è stato preso circa 1 grammo di alimento ed è stato messo in una beuta contenente 3 ml di THF stabilizzato con BHT (0,01%).

Ai campioni sono stati aggiunti 2,7 ml di alcool metilico, la miscela ottenuta è stata omogeneizzata per 45 secondi al fine di ottenere una sospensione uniforme.

È stata aggiunta una soluzione metanolica di KOH al 40%, e sono stati posti tutti i campioni in un bagno termostato a 40 °C con agitazione.

Dopodiché, sono stati aggiunti 0,15 g di acido ascorbico per neutralizzare il KOH e 10 ml di una soluzione acquosa al 10% di NaCl. Sono state fatte tre estrazioni con 15 ml di una soluzione esano/dietiletere (1:1). Quando necessario sono state aggiunte alcune gocce di metanolo per facilitare l'estrazione.

Dal liquido ottenuto sono stati fatti evaporare i solventi organici a secco e sotto azoto, il residuo è stato dissolto in 10 ml di esano.

L'estratto ricostituito è stato fatto evaporare a secco e ridissolto in 1 ml costituito da 100 µl di esano/dietiletere (1:1) e 900 µl di fase mobile. Per la determinazione del contenuto di luteina è stata utilizzata la cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC).

La determinazione della quantità dei grassi totali contenuti nell'achenio, è avvenuta tramite l'estrattore soxhlet utilizzando come solvente organico l'etere dietilico.

2.5.3. Risultati e discussione

La percentuale di olio nel seme è risultato un parametro molto variabile passando da 16,65 a 26,61 con valori medi del 22,4% (fig. 42).

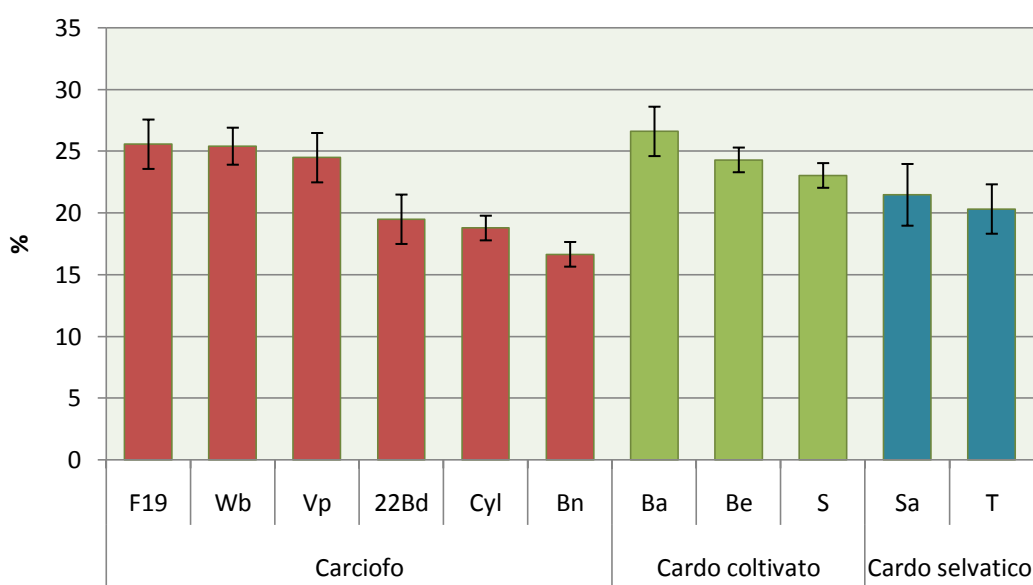


Figura 42 - Percentuale di olio negli acheni del materiale vegetale selezionato.

I genotipi più produttivi sono risultati: Ba (26,61%), F19 (25,57%), Wb (25,41%), VP (24,48%), Be (24,30%), con valori maggiori al 24% mentre S (23,04%), Sa (21,47%), T (20,32%) si sono attestati su valori compresi tra il 20 e il 24%; infine, 22Bd (19,49%), Cyl (18,78%) e Bn (16,65%) hanno espresso valori tra il 16 e il 20%.

Anche il profilo degli acidi grassi è variato molto a seconda del genotipo (tab. 23). Il valore medio degli acidi grassi presenti nelle linee in prova è risultato del 18,1% per l' ac. Palmitico, del 31,7% per l'ac. oleico, e del 49,4% per l'ac. linoleico. Da notare però che, alcuni genotipi si discostano notevolmente dalla media; in particolare il "22Bd" che a fronte di un ridotta percentuale di acido oleico (14,9%) presenta una elevata quantità di acido stearico (15,6%), praticamente assente negli altri genotipi. Nella stessa tabella si deduce che: il Ba può essere considerata una varietà ad alto contenuto in acido linoleico (58,9%); la linea F19 presenta un alto contenuto in acido oleico (47,8%) ed infine che la cv Vert de Provence presenta un rapporto 1:1 tra ac. oleico e ac. linoleico.

Tra i diversi acidi grassi presenti nell'olio, l'acido palmitico è quello che è variato di meno in quanto è oscillato di solo il 3,9% tra il "Vert de Provence", che rappresenta la cultivar a maggior contenuto (19,6%), e la cv Siena di cardo coltivato che è quella a minor contenuto (15,7%).

l'acido oleico è invece variato del 32,9%, passando da un contenuto dal 14,9% della cv 22Bd al 47,8% della cv F19; l'acido linoleico ha evidenziato una oscillazione inferiore a quella osservata per l'acido oleico in quanto è variato del 22,5% raggiungendo i massimi valori nella cv Ba (58,9%) e quelli inferiori nella cv F19 (36,4%).

Il rapporto ac. grassi saturi/insaturi è stato di 0,2 in tutti i genotipi tranne nel 22 Bd dove è raggiunto il valore di 0,5 dovuto al maggior contenuto in ac. stearico.

In generale, sembra che nell'olio di carciofo ci sia un equilibrio tra il contenuto in acido oleico e acido linoleico; infatti, quasi in tutte le varietà al diminuire

dell'uno corrisponde l'aumento dell'altro, fatta eccezione per la cv 22 Bd dove ad una diminuzione dell'ac. oleico è corrisposto un aumento dell'acido stearico.

Tabella 23 - Profilo degli acidi grassi e rapporto acidi grassi saturi su insaturi in olio di carciofo.

Genotipo	Acido palmitico (%)	Acido stearico (%)	Acido oleico (%)	Acido linoleico (%)	Sat/ins
Carciofo					
22Bd	19,1	15,6	14,9	50,3	0,5
Cyl	17,9	0	35,1	47,0	0,2
F19	15,8	0	47,8	36,4	0,2
Bn	19,5	0	32,9	47,6	0,2
Wb	19,5	0	29,3	51,2	0,2
Vp	19,6	0	39,6	40,8	0,2
<i>Media</i>	18,6	2,6	33,3	45,5	0,25
Cardo coltivato					
Be	18,7	0	30,2	51,1	0,2
Ba	17,5	0	23,5	58,9	0,2
S	15,7	0	33,4	50,9	0,2
<i>Media</i>	17,3	0	29,0	53,6	0,2
Cardo selvatico					
Sa	18,3	0	32,3	49,5	0,2
T	18,6	0	33,2	48,3	0,2
<i>Media</i>	18,45	0	32,7	48,9	0,2
Media generale	18,1	0,86	31,7	49,4	0,2

Il contenuto medio in tocoferoli è risultato di 56 mg/g, e sono state osservate forti oscillazioni tra i genotipi in prova (fig. 43). In particolare Wb, Ba, Be, S, Sa hanno mostrato i valori più alti con un contenuto in tocoferoli compreso tra 61,74 e 67,3 mg/g; Vp e T hanno avuto valori rispettivamente di 56 e 53 mg/g, mentre F19, 22Bd, Cyl e Bn hanno mostrato dei valori compresi tra 50 e 40,5 mg/g.

Confrontando le medie delle tre sub-specie: carciofo, cardo coltivato e cardo selvatico, possiamo notare che tutti e i cardo coltivati hanno mostrato un elevato

contenuto in tocoferoli (>60 mg/g), mentre, i due tipi di cardo selvatico, seppure molto simili per le caratteristiche morfologiche e produttive, hanno mostrato una notevole differenza tra di loro risultando per le due varietà di cardo selvatico “Sasso” e “Tarquinia” rispettivamente del 67,3 mg/g e del 53,9 mg/g. Anche nei genotipi di carciofo è stata notata una grande variabilità di questo carattere che infatti ha assunto valori tra 40 e i 65 mg/g.

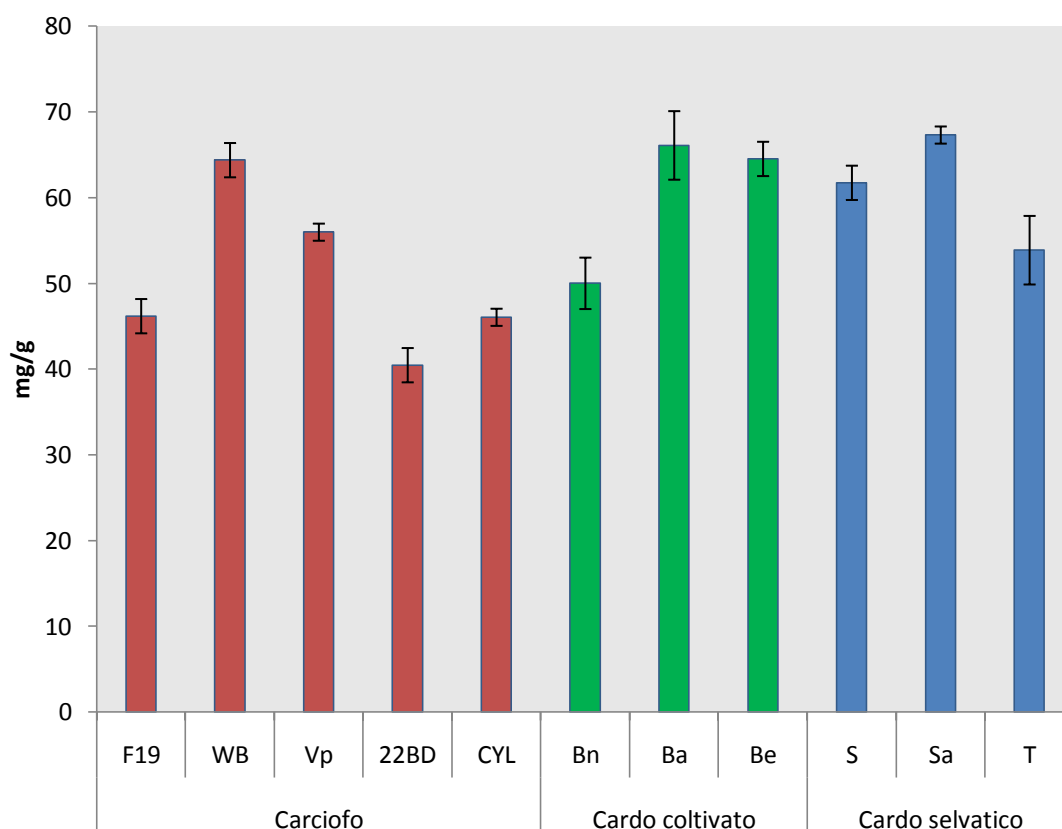


Figura 43 - Contenuto in tocoferoli nell'olio di semi di carciofo.

Il contenuto medio in luteina (fig. 44) dei genotipi in prova è stato pari a 5,2 mg/g. Tra i genotipi sono emerse differenze significative; in particolare, il contenuto in luteina è risultato maggiore nelle linee Wb, Vp, Ba, Be ed S in quanto hanno prodotto più di 5,6 mg/g, le linee F19, 22Bd, Cyl, Sa e T si sono attestate su valori compresi tra di 5,2 e 4,2 mentre la linea Bn, con solo 2,6 mg/g, è risultata quella con il minor contenuto in luteina.

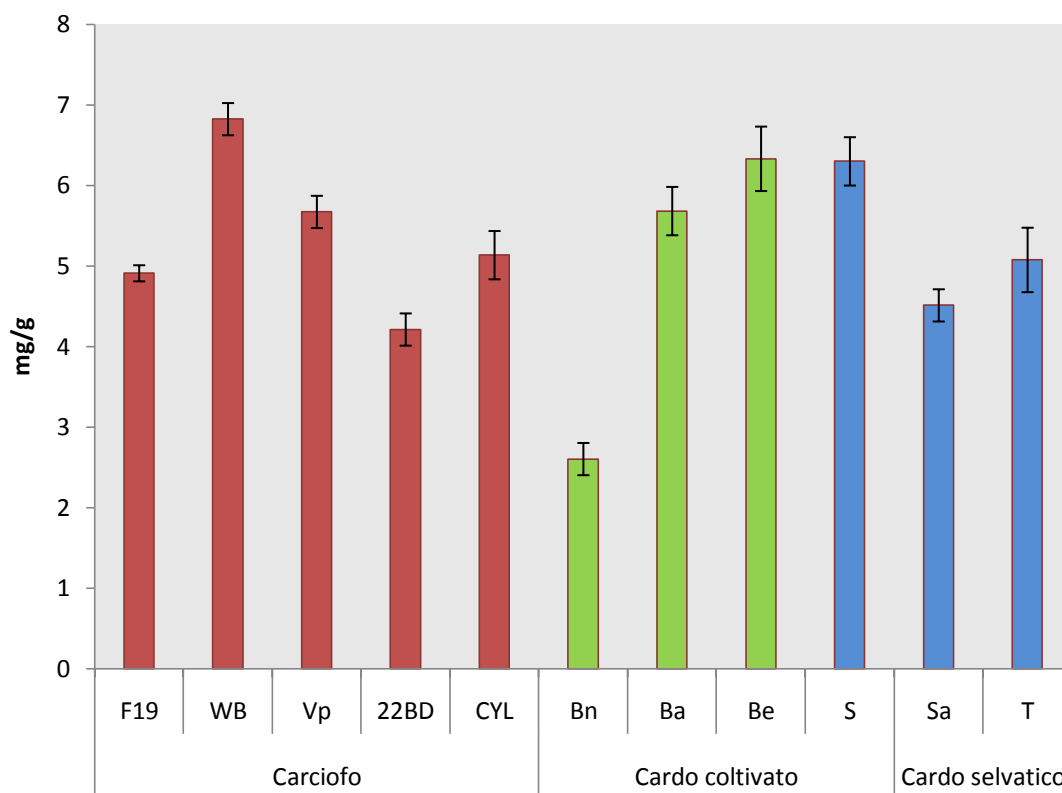


Figura 44 - Contenuto in luteina nell'olio di semi di carciofo.

2.6. Conclusioni

Dalla sperimentazione sono emerse interessanti indicazioni riguardo le varie problematiche che sono state affrontate nel triennio 2008-2010 come appresso riportato.

Lo studio della la tecnica di impollinazione in carciofo ha evidenziato, sia per quanto riguarda l'ottenimento di seme ibrido F_1 in ambiente confinato sia per incrementare la resa ad ettaro in acheni, che è necessario dislocare delle arnie nei pressi della coltura e, soprattutto per i maschio-sterili, trattare le infiorescenze con una soluzione zuccherina contenente il 10% di saccarosio in quanto determina un incremento delle visite dei fiori da parte degli insetti pronubi.

L'utilizzo del pennello e lo sfregamento diretto del capolino sono risultate tecniche particolarmente valide quando la pianta da impollinare si trova lontana dalla pianta porta polline, ad esempio in un altro campo o all'interno di un altro isolatore. È stato inoltre osservato che per ottenere elevate rese in seme, occorre utilizzare varietà o ibridi con un elevato vigore, non tanto espresso come dimensioni della pianta ma come produzione di polline e numero di capolini a pianta. A questo riguardo i risultati ottenuti hanno evidenziato l'importanza di conoscere l'effetto della depressione da inbreeding in carciofo, al fine di ottenere linee uniformi e stabili ma anche con un buon vigore vegetativo. Pertanto, questi risultati uniti all'alto livello di allogamia (96%) osservato in carciofo (linea: White Bloomer), dimostrano la propensione di questa specie all'alloincrocio, tipico delle specie prevalentemente allogame.

La produzione di seme per capolino non è stata influenzata dai rapporti tra maschio-fertili e maschio-sterili adottati all'interno dell'isolatore. Questo sta ad indicare che all'interno dell'isolatore per massimizzare le rese in acheni dei maschio-sterili, non è necessario mantenere elevati rapporti Mf:ms perché il rapporto più basso (1:10) utilizzato nella prova non ha fatto registrare livelli

produttivi statisticamente diversi da quelli ottenuti con rapporti maggiori. Questo dimostra che la produzione di polline di un maschio-fertile è in grado di assicurare la completa fecondazione di almeno 10 maschi-sterili. C'è comunque da tener conto che la produzione di polline dipende dal genotipo e dall'ambiente, nonché dalla loro interazione, e che quindi, questi risultati possono dare un'indicazione sulla proporzione di Mf e ms da utilizzare all'interno degli isolatori, anche se va precisato che altri genotipi potrebbero avere dei rapporti ottimali diversi.

L'impiego di linee e di cloni maschio-sterili uniformi e stabili, ottenuti proseguendo il lavoro di selezione e di incrocio in corso da più anni presso l'Università della Tuscia e la *Big Heart Seed*, ha permesso di realizzare ibridi F_1 , caratterizzati da alte rese in seme e da una buona uniformità. Il livello produttivo raggiunto dai suddetti ibridi F_1 , è risultato dipendere dalla produttività delle linee parentali utilizzate negli incroci.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile affermare che il carciofo e il cardo possono essere considerate delle specie vegetali utilizzabili per la produzione di olio estratto dai semi. I semi di carciofo, infatti, contengono circa il 25% di olio, che presenta caratteristiche simili a quello dell'olio di semi di girasole. In particolare, la percentuale degli acidi grassi insaturi è molto elevata ed è rappresentata da acido oleico e linoleico; sono anche presenti elevate quantità di tocoferoli (vitamina E).

I valori dei parametri osservati hanno evidenziato che l'olio estratto da semi di carciofo presenta un buon valore alimentare per cui risulta interessante il suo impiego nell'alimentazione umana.

Inoltre, tenendo presente che il carciofo non è mai stato sottoposto a programmi di miglioramento genetico mirati ad esaltare la qualità dell'olio e ad incrementare la produzione di semi e la resa in olio, è possibile ipotizzare, in un prossimo futuro, l'impiego di questa specie per la produzione di olio di semi.

2.7. Schede descrittive

Nome comune: **22BD**

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Grassi totali (%)	19,49 ± 0,57
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
Acido palmitico	19,1 ± 0,2
Acido stearico	15,6 ± 0,3
Acido oleico	14,9 ± 0,1
Acido linoleico	50,3 ± 0,2
Sat/ins	0,5
Luteina (mg/gr)	4,2 ± 0,2
Tocoferoli (mg/gr)	40 ± 0,3

Provenienza:	California
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde-rosso
Vigoria:	media



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	9,2 ± 0,1
Semi capolino ⁻¹ (n.)	421 ± 0,2
Peso medio 100 semi (g)	5,11 ± 0,2
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	1,98 ± 0,4

Nome comune: **Brawley North**

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Provenienza: California
 Epoca di raccolta: tardiva
 Forma del capolino: sferica
 Colore capolino: verde
 Vigoria: media

Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	15,2 ± 0,2
Semi capolino ⁻¹ (n.)	431 ± 0,3
Peso medio 100 semi (g)	4,56 ± 0,2
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	2,99 ± 0,5

Grassi totali (%)	16,65 ± 0,95
Acidi grassi	%
Acido palmitico	19,5 ± 0,2
Acido stearico	0
Acido oleico	32,9 ± 0,3
Acido linoleico	47,6 ± 0,2
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	2,6 ± 0,2
Tocoferoli (mg/gr)	50 ± 0,1



Nome comune: **Cyl**

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Grassi totali (%)	18,78 ± 0,57
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
Acido palmitico	17,9 ± 0,1
Acido stearico	0
Acido oleico	35,1 ± 0,8
Acido linoleico	47 ± 1,2
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	5,1 ± 0,3
Tocoferoli (mg/gr)	46 ± 0,1

Provenienza:	California
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	allungata
Colore capolino:	verde
Vigoria:	medio-elevata



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	12,6 ± 0,3
Semi capolino ⁻¹ (n.)	111 ± 0,2
Peso medio 100 semi (g)	5,12 ± 0,1
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	0,72 ± 0,4

Nome comune: F-19

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Grassi totali (%)	25,57 ± 1,14
Acidi grassi	%
Acido palmitico	15,8 ± 0,2
Acido stearico	0
Acido oleico	47,8 ± 0,5
Acido linoleico	36,4 ± 1,1
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	4,9 ± 0,1
Tocoferoli (mg/gr)	46 ± 0,2

Provenienza:	California
Epoca di raccolta:	precoce
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata

Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	15,5 ± 0,2
Semi capolino ⁻¹ (n.)	492 ± 0,3
Peso medio 100 semi (g)	4,91 ± 0,1
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	3,75 ± 0,2



Nome comune: **White bloomer**

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Grassi totali (%)	25,41 ± 0,22
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
Acido palmitico	19,5 ± 0,2
Acido stearico	0
Acido oleico	29,3 ± 1,3
Acido linoleico	51,2 ± 1,2
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	6,8 ± 0,2
Tocoferoli (mg/gr)	64,4 ± 0,2

Provenienza:	California
Epoca di raccolta:	precoce
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	12 ± 0,1
Semi capolino ⁻¹ (n.)	146 ± 0,3
Peso medio 100 semi (g)	4,8 ± 0,1
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	0,85 ± 0,5

Nome comune: **Vert de Provence**

Specie: *Cynara cardunculus* L. subsp. *scolymus* (L.) Fiori



Grassi totali (%)	24,48 ± 2,02
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
Acido palmitico	19,6 ± 0,5
Acido stearico	0
Acido oleico	39,6 ± 0,8
Acido linoleico	40,8 ± 0,6
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	5,67 ± 0,2
Tocoferoli (mg/gr)	56 ± 0,3

Provenienza:	Francia
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	15 ± 0,2
Semi capolino ⁻¹ (n.)	200 ± 0,4
Peso medio 100 semi (g)	4 ± 0,1
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	1,2 ± 0,3

Nome comune: **Bianco avorio**

Specie: *Cynara cardunculus* var. *altilis* DC.



Grassi totali (%)	26,61 ±
Acidi grassi	%
Acido palmitico	17,5 ± 0,4
Acido stearico	0
Acido oleico	23,5 ± 0,9
Acido linoleico	58,9 ± 0,8
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	5,68 ± 0,3
Tocoferoli (mg/gr)	66 ± 1,2

Provenienza:	Tarquini
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata

Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	30 ± 0,5
Semi capolino ⁻¹ (n.)	225 ± 0,2
Peso medio 100 semi (g)	3 ± 0,2
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	2 ± 0,5



Nome comune: **Belgio**

Specie: *Cynara cardunculus* var. *altilis* DC.



Grassi totali (%)	24,3 ± 1,15
Acidi grassi	%
Acido palmitico	18,7 ± 0,4
Acido stearico	0
Acido oleico	30,2 ± 0,8
Acido linoleico	51,1 ± 1,2
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	6,33 ± 1,3
Tocoferoli (mg/gr)	64,5 ± 1,2

Provenienza:	Tarquini
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata



Parametri produttivi	
Capolini pianta ⁻¹ (n.)	26 ± 0,3
Semi capolino ⁻¹ (n.)	230 ± 0,2
Peso medio 100 semi (g)	3,3 ± 0,3
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	19 ± 0,5

Nome comune: **Siena**

Specie: *Cynara cardunculus var. altilis* DC.



Grassi totali (%)	23 ± 0,07
Acidi grassi	%
Acido palmitico	15,7 ± 0,3
Acido stearico	0
Acido oleico	33,4 ± 1,1
Acido linoleico	50,9 ± 1,3
Sat/ins	0,2
Luteina (mg/gr)	6,31 ± 0,7
Tocoferoli (mg/gr)	61,7 ± 1,5

Provenienza:	Tarquini
Epoca di raccolta:	tardiva
Forma del capolino:	sferica
Colore capolino:	verde
Vigoria:	elevata

Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	23,2 ± 1,1
Semi capolino ⁻¹ (n.)	251 ± 2,1
Peso medio 100 semi (g)	3 ± 0,2
Produzione di seme (t ha ⁻¹)	1,7 ± 0,6



Nome comune: **Cardo selvatico**

Specie: *Cynara cardunculus var. sylvestris* (Lamk) Fiori



Grassi totali (%)	21,47 ± 0,05
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
--------------	---

Acido palmitico	18,3 ± 0,3
-----------------	------------

Acido stearico	0
----------------	---

Acido oleico	32,3 ± 0,7
--------------	------------

Acido linoleico	49,5 ± 1,2
-----------------	------------

Sat/ins	0,2
---------	-----

Luteina (mg/gr)	4,5 ± 1,1
-----------------	-----------

Tocoferoli (mg/gr)	67 ± 0,8
--------------------	----------

Provenienza: Cerveteri

Epoca di raccolta: tardiva

Forma del capolino: allungata

Colore capolino: verde

Vigoria: ridotta



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	23 ± 0,3
------------------------------------	----------

Semi capolino ⁻¹ (n.)	210 ± 1,2
----------------------------------	-----------

Peso medio 100 semi (g)	2,8 ± 0,4
-------------------------	-----------

Produzione di seme (t ha ⁻¹)	1,3 ± 0,4
--	-----------

Nome comune: Cardo selvatico

Specie: *Cynara cardunculus* var. *sylvestris* (Lamk) Fiori



Grassi totali (%)	20,32 ± 0,04
-------------------	--------------

Acidi grassi	%
--------------	---

Acido palmitico	18,6 ± 0,3
-----------------	------------

Acido stearico	0
----------------	---

Acido oleico	33,2 ± 0,8
--------------	------------

Acido linoleico	48,3 ± 0,9
-----------------	------------

Sat/ins	0,2
---------	-----

Luteina (mg/gr)	5 ± 1,3
-----------------	---------

Tocoferoli (mg/gr)	53 ± 2,1
--------------------	----------

Provenienza: Tarquinia

Epoca di raccolta: tardiva

Forma del capolino: allungata

Colore capolino: verde

Vigoria: ridotta



Parametri produttivi

Capolini pianta ⁻¹ (n.)	22 ± 1,1
------------------------------------	----------

Semi capolino ⁻¹ (n.)	200 ± 0,3
----------------------------------	-----------

Peso medio 100 semi (g)	3,2 ± 0,3
-------------------------	-----------

Produzione di seme (t ha ⁻¹)	1,4 ± 0,4
--	-----------

3. BIBLIOGRAFIA

1. Ancora G., Belli M.L., Cuozzo L., 1981. Globe artichoke plants obtained from shoot apices through rapid in vitro micropropagation. *Sci. Horticulturae*, 14: 207-213.
2. Babes G., Lumia V., Pasquini G., Di Lernia G., Barba M., 2004. Production of virus free artichoke germplasm. *Acta Horticulturae*, 660: 467 – 472.
3. Barba M., Di Lernia G., Babes G., Citrulli F., 2004. Produzione e conservazione di germoplasma di carciofo di tipo romanesco esente da virus. *Italus Hortus* 11:5-10.
4. Barcaccia G., Lorenzetti S., Falcinelli M., 2006. Sull'eterosi nelle piante: dall'ipotesi genetica di Jones all'era genomica. CMF, Perugia.
5. Basnizki Y., Goldshmidt, E., 1994. Further examination of gibberellin GA3 effects on flowering of globe artichokes (*Cynara scolymus* L.) under controlled environment and field conditions. *Israel J. Plant Sci.* 42: 159-166.
6. Basnizki J. and Mayer A. M., 1985. Germination of *Cynara* seeds: effects of light and temperature on the function of endosperm. *Agronomie* 5:529-532.
7. Basnizki J., Zohary D., 1987. Seed-planted Cultivar of Globe Artichoke. *HortScience*, Vol. 22(4), August 1987.
8. Basnizki J., Zohary D., 1994. Breeding of seed planted artichoke. *Plant Breed Rev.* 12:253-269.
9. Basnizky J., Zohary D., 1994. Breeding of seed-planted artichoke. *Plant Breed. Rev.* 12, 253-269.
10. Bernal C., Palomares G., Susín I., 2005. Establishment of a germination medium for artichoke pollen and its relationship with seed production. *Acta Hort. (ISHS)* 681:291-300.
11. Bernal C., Palamares G., Susin I., 2000a. Correlacion entre germinacion in vitro del polen y la production de semilla de alcachofa. *Repercusion en la mejora vegetal. Actas de Hortic.* 30,117-122.
12. Bernal C., Palamares G., Susin I., 2000b. Influencia del sistema de apareamiento, orden del capitulo y condiciones ambientales en la produccion de semilla de alcachofa. *Actas de Hortic.* 30,129-134.

13. Bianco V., 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
14. Bonciarelli F., 1998. Coltivazioni erbacee da pieno campo. Edagricole, Bologna.
15. Calabrese N., Bianco V.V., 2000. Effect of gibberellic acid on yield and quality of seed grown artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori). *Acta Hort.* 514: 25-32.
16. Calabrese N., De Palma E., Bianco V.V., 2005a. Yield and quality of seed propagated artichoke hybrid cultivars grown for four years. *Acta Hort.* 681: 135-141.
17. Calabrese N., Cardinali A., Di Venere D., Linsalata V., Pieralice M., Sergio L., 2005b. Technological parameters and suitability to freezing of seed grown artichoke hybrids. *Acta Hort.* 681: 495-501.
18. Carvalho I.S., Miranda I., Pereira H., 2006. Evaluation of oil composition of some crops suitable for human nutrition. *Industrial Crops and Products* 24: 75-78.
19. Catalano M., 1981. Studi sul carciofo, atti del 3° congresso internazionale sul carciofo. pag: 739-750.
20. Chatelet, P., Corre, J., Delpierre, N. and Cottignies, A., 2005. Illustration of nectar-producing structure of *Cynara cardunculus* L. var *scolymus* (L.) Fiori. *Acta Hort.* (ISHS) 681:625-627.
21. Ciccarese F., Cirulli M., Frisulli S., 1985. Prove di lotta chimica contro la verticilliosi del carciofo. *Informatore Fitopatologico*, 35 (5): 39-42.
22. Cirulli M., Ciccarese F., Frisullo S., 1984. L'avvizzimento del carciofo da *Verticillium dahliae* Kleb. in Italia meridionale. *Informatore Agrario*, 40 (30): 52-55.
23. Ciccarese F., Cirulli M., 1985. La verticilliosi del carciofo. *Informatore Fitopatologico*, 35 (9): 25-26.
24. Damato, G. and Calabrese, N. 2007 b. Osmoconditioning and germination temperatures in "seed" of two artichoke cultivars. *Acta Hort.* (ISHS) 730:331-336.
25. Del Rio, 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
26. De Pace C. *et al.*, 1981. Studi sul carciofo, atti del 3° congresso internazionale sul carciofo. pag: 717-738.
27. Fernandez C.M., Bertrand C.S., 1988. Verticilosis: Principal Problema de la alchachofa en la V Región. *IPA La Platina*, 50: 6-9.

28. Field A., 2005. Discovering statistics using SPSS for windows, 2nd edn. SAGE Publications Ltd, London, pp 816.
29. Foury C., 1967. Étude de la biologie florale de l'artichaut (*Cynara scolymus* L.); application à la sélection, 1ère partie : données sur la biologie florale, Ann. Amélior. Plantes 17: 357–373.
30. Foury, C., Martin, F. and Imperiali, M. 1978. Remarques sur la production des semences d'artichaut (*Cynara scolimus* L.). Ann Amélior Plantes 28(1): 45-60.
31. Foury C., 1987. Quelques aspects du développement de l'artichaut (*Cynara scolymus* L.) issue de semences; analyse plus particulière de la floraison en conditions naturelles. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Pierre et Marie Curie, Paris.
32. Foury C. 1989. Ressources génetiques et diversification de l'artichaut (*Cynara scolymus* L.). Acta Horticulturae 242: 155–166.
33. Foury, C., Martin, F., Pécaut, P., Vaissière, B., Morison, N. and Corre, J. 2005. Avantages et difficultés de la création d'hybrides F1 d'artichaut à semer. Acta Hort. (ISHS) 681:315-322.
34. Gallitelli D, Rana GL, Vovlas C, Martelli GP, 2004. Viruses of globe artichoke: an overview. J. Plant Pathology, 84 (4): 267-281.
35. Gallitelli D, Papanice M, Campanale A, Bottalico G, Sumerano P, 2006. Risanamento nel carciofo brindisino. Atti Convegno "Il carciofo: dal laboratorio al mercato", Roma (Italy) 19-21 April 2006.
36. Gallitelli D., Mascia T., 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
37. Gavino del Rio, 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
38. Huang, A. H. C., 1992. Oil bodies and oleosins in seeds. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 43: 177-200.
39. Kaul, M. L. H. Male Sterility in Higher Plants (Springer, Berlin and Heidelberg, 1988).
40. Lewis, D., 1941. Male sterility in natural populations of hermaphrodite plants. New Phytol, 40, 5663.
41. Lo Bianco C., 2008. Gamic propagation of globe artichoke for the production of F₁ Hybrids.

42. Lorenzetti F., 1994. Miglioramento genetico delle piante agrarie. Edagricole, Bologna.
43. Maccarone *et al.*, 1999. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. *Industrial Crops and Products*. 10: 229-237.
44. Mauromicale G., 1994. Influenza del genotipo e dell'ambiente sul calendario di produzione del carciofo propagato per 'seme'. *Informatore Agrario* 50 (21): 61-65.
45. Mauromicale G., Ierna A., 1995. Effects of gibberellic acid and sowing date on harvest time and yields of seed-grown globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Agronomie* 15: 527-538
46. Mauromicale G., Ierna A., 2000. Panorama varietale e miglioramento genetico del carciofo. *Inf Agrario* 26:39-45 *Genet Resour Crop Evol*
47. Micozzi F., Morone F. I., Cardarelli M., Colla G., Temperini O., Saccardo F., 2004. Innovazione nella propagazione del carciofo per lo sviluppo del settore vivaistico. *Italus Hortus* 11:46-48.
48. Morone-Fortunato I., Ruta C., Castrignanò A, Saccardo F, 2005. The effect of mycorrhizal symbiosis on the development of micropropagated artichokes. *Scientia Horticulturae*, 106 (4): 472-483.
49. Morone-Fortunato I., Tavazza R., Cadinu M., Ierna A., Cardarelli M., Nervo G., 2006. Micropropagazione e vivaismo Congress Acts "Il carciofo dal laboratorio al mercato" CRA 19-21 aprile 2006 Progetto MIPAF.
50. Morzadec J.M. and A. Hourmant. 1997. In vitro improvement of globe artichoke (cv. Camus de Bretagne) by GA3. *Scientia Horticulture*, 72:59-62.
51. Pagnotta M.A., Rey Munoz N.A., Barba M., Saccardo F., 2007. Virus free artichoke germplasm: differentiation between virus-free and control plants detected by molecular markers recovery and characterization of Italian artichoke traditional landraces of romanesco type. *Acta Horticulturae ISHS* 730: 381-388.
52. Pécaut P., Foury C., L'artichaut, in: Gallais A., Bannerot H. (Eds.), 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection*, INRA Paris, pp. 460- 470.
53. Pécaut P, 1993. Globe artichoke *Cynara scolymus* L. Genetic improvements of vegetable crops. Pergamon Oxford. Pp. 737-746.

54. Pignone D., 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
55. Pinzauti, M., D. Frediani, and R. Tesi, 1981. Osservazioni sull'impollinazione entomofila del carciofo. Congress Acts. Int. di Studi sul Carciofo, Bari. Industria Grafica Laterza, Bari. P. 605-615.
56. Principe J.A., 1984. Male-sterility in artichoke. Hort Science, 19 (6): 864.
57. Scarascia Mugnozza G. *et al.*, 1981. Studi sul carciofo, atti del 3° congresso internazionale sul carciofo. pag: 751-764.
58. Sonnante G., De Paolis A, Lattanzio V., Perrino P., 2002. Genetic variation in wild and cultivated artichoke revealed by RAPD markers. Genetic Resources Crop Evolution, 49: 247-252.
59. Sonnante G., De Paolis A., Carluccio AV., Pignone D., 2006. Characterization of newly isolated microsatellite markers from artichoke. Proceedings of the 50th Italian Society of Agricultural Genetics Annual Congress, 10–14 September, 2006: Ischia, Italy. Poster Abstract A.44.
60. Sonnante G., Carluccio A. V, De Paolis A., Pignone D., 2007a. Identification of artichoke SSR markers: molecular variation and patterns of diversity in genetically cohesive taxa and wild allies. Genet Resour Crop Evol (2008) 55:1029–1046
61. Stamigna C., Micozzi F., Pandozy G., Crinò P., Saccardo F., 2004. Produzione di ibridi F1 di carciofo mediante impiego di cloni maschiosterili. Italus Hortus 11(5): 29-33.
62. Stamigna C., Pandozy G., Saccardo F., Ancora G., Crino' P., 2005. In vitro mutagenesis of globe artichoke (cv. romanesco). Acta Horticulturae, 681: 403-406.
63. Taiz L., 2002. Fisiologia vegetale. Piccin, Padova.
64. Temperini O., Micozzi F., Mariotti R., Colla G., Saccardo F, 2000. Messa a punto di una nuova tecnica di propagazione agamica del carciofo. L'Informatore agrario 26:54-56.
65. Temperini O., 2009. Il carciofo e il cardo. Bayer, Bologna.
66. Tesi R., 1994. Principi di orticoltura e ortaggi d'Italia. Edagricole, Bologna.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito nelle varie fasi del presente lavoro; in particolare, il Prof. Francesco Saccardo, già mio relatore di tesi di laurea in quanto si è sempre mostrato presente e disponibile con i suoi suggerimenti e acuti consigli rivelatisi sempre per me veritieri e preziosi.

Un grazie anche ai Dott. Giuseppe Maiani e Enrico Finotti e ai loro Collaboratori per il supporto tecnico e i preziosi consigli datimi durante la mia permanenza presso l'Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione Umana, dove sono state effettuate le analisi di laboratorio.

Un grazie particolare va al Dott. John Rusty Jordan per avermi dato l'opportunità di conoscere la realtà cinaricola Californiana e il supporto tecnico datomi durante tutto il periodo trascorso in California; inoltre, vorrei ringraziare tutti i componenti della sua famiglia: Alyssa, Connie, Corey, Paul e Orlando, per l'ospitalità e l'amicizia mostratami, rendendo così il mio soggiorno molto piacevole.

Grazie anche a Joe Principe, per la sua disponibilità e per avermi fatto partecipe alla sua attività di miglioramento genetico in carciofo.

Grazie a tutto il personale tecnico che a Brawley ha collaborato nelle attività di campo ed in particolare Alejandro.

Desidero infine ringraziare i Dott. Luigi Cardarelli, Fabio Micozzi e Roberto Mariotti per la loro grande disponibilità e competenza nelle attività di campo svolte presso la Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi della Tuscia e i Campi sperimentali ARSIAL di Tarquinia e Cerveteri.