



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA
Dipartimento di Scienze Agrarie,
Alimentari e Ambientali



Matteo Finocchi

EFFETTO DELLA CONCIMAZIONE AZOTATA SU CRESCITA E PRODUZIONE IN AGLIONE DI VALDICHIANA



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali



Corso di Laurea Magistrale in

SVILUPPO RURALE SOSTENIBILE
curriculum AGRICOLTURA SOSTENIBILE

**EFFETTO DELLA CONCIMAZIONE AZOTATA
SU CRESCITA E PRODUZIONE IN AGLIONE DI
VALDICHIANA**

LAUREANDO

Matteo Finocchi

matr. n. 319150

RELATORE

Prof. Francesco Tei

ANNO ACCADEMICO 2019-2020



RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare il Prof. Francesco Tei,
relatore di questa tesi di laurea, oltre che per l'aiuto fornitomi,

per la grande disponibilità e precisione dimostratemi durante tutto il
periodo di stesura.

Senza di Lui questo lavoro non avrebbe preso vita!

Un grande ringraziamento va all'Associazione aglione di Valdichiana
per il materiale vegetale d'impianto fornitomi per la prova
sperimentale; allo staff tecnico del campo sperimentale del DSA3 per il
lavoro svolto,

ai miei genitori

che con il loro sostegno mi hanno permesso di arrivare fin qui,

ai miei nonni che mi hanno trasmesso una grande passione per
l'agricoltura e tanta voglia di scoprire cose nuove.

Un grazie speciale a Guia,

la persona che più di tutti è stata capace di capirmi e di sostenermi nei
momenti difficili;

grazie a lei ho avuto il coraggio di sperimentare nuove idee, di mettermi
in gioco durante questi anni
e capire che gli ostacoli esistono per essere superati.

Indice

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	5
1 – INTRODUZIONE.....	6
1.1 – Il Territorio della Valdichiana: geografia e bonifica della palude	6
1.2 – Sistematica del genere <i>Allium</i>	11
1.3 – <i>Allium ampeloprasum</i> L. var. <i>holmense</i> (Mill.) Asch. Et Graebn, storia e genetica della specie	12
1.4 – Le varietà locali (“Landraces”)	15
2 – CARATTERISTICHE BOTANICHE	21
2.1 – Ciclo biologico della specie	25
2.2 – Esigenze ambientali e pedologiche	29
3 – COLTIVAZIONE	30
3.1 – Avvicendamento e lavorazione del terreno.....	30
3.2 – Piantagione o "semina"	31
3.3 – Densità e sesto d’impianto	32
3.4 – Cure colturali	32
3.5 – Fabbisogno idrico e irrigazione	35
3.6 – Esigenze nutritive e concimazione	37
3.7 – Pacciamatura	38
3.8 – Raccolta.....	38
3.9 – Operazioni post raccolta.....	40
4 – AVVERSITÀ E DIFESA	41
4.1 – Fitopatologie causate da virus	41
4.2 – Fitopatologie causate da batteri	41
4.3 – Fitopatologie causate da oomiceti.....	41
4.4 – Fitopatologie causate da funghi.....	41
4.4.1 – Divisione <i>Ascomycota</i>	41
4.4.2 – Divisione <i>Basidiomycota</i>	41
4.5 – Fisiopatie causate da agenti abiotici	42
4.6 – Avversità entomologiche.....	42
4.7 – Nematodi	42
5 – LA GESTIONE DELL'AZOTO NELLE COLTURE ORTICOLE	45
5.1 – Problematiche legate alla fertilizzazione azotata.....	45



5.2 – Il bilancio dell'azoto nel sistema "terreno-coltura-atmosfera" - " <i>Nitrogen balance</i> "	46
5.3 – Assorbimento di azoto da parte della coltura - <i>Crop N uptake</i>	48
5.4 – Metodi di stima dei fabbisogni di concimazione delle colture mediante sensori ottici	49
5.5 – Efficienza della concimazione azotata	52
PARTE SPERIMENTALE	54
6 – SCOPO DELLA TESI	54
7 – MATERIALI E METODI	55
7.1 – Disegno sperimentale e impianto della sperimentazione	55
7.2 – Campionamenti e misure	57
7.3 – Analisi dei dati	62
8 – RISULTATI E DISCUSSIONE	64
8.1 – Emergenza	64
8.2 – Analisi di crescita	65
8.3 – Assorbimento di azoto	74
8.4 – Produzione e diametro dei bulbi alla raccolta	79
8.5 – Essiccazione naturale	81
9 – CONCLUSIONI	82
BIBLIOGRAFIA	84



RIASSUNTO

L'aglione (*Allium ampeloprasum* L.), coltivato da secoli in Valdichiana (Toscana), ha caratteristiche morfologiche e fisiologiche molto simili all'aglio comune da cui differisce per le dimensioni ed il sapore: il peso del bulbo può raggiungere il chilogrammo e il sapore è delicato e non pungente per la mancanza dei composti solforati tipici di altre specie eduli del genere.

La coltivazione è affidata alle conoscenze empiriche degli agricoltori locali così come tramandata nelle generazioni senza il sostegno di specifiche ricerche sulle esigenze biologiche, eco-fisiologiche e agronomiche.

La presente ricerca ha avuto come scopo di valutare l'effetto della disponibilità di azoto sulla crescita e sulla produzione dell'aglione mediante l'applicazione di dosi crescenti di concimazione azotata e la determinazione dei principali parametri eco-fisiologici e produttivi.

ABSTRACT

Effect of nitrogen fertilization on growth and production in aglione di Valdichiana

The aglione (*Allium ampeloprasum* L.), cultivated for centuries in Valdichiana (Tuscany), has morphological and physiological characteristics similar to common garlic from which it differs in size and flavor: the weight of the bulb can achieve the kilogram and the flavor is delicate and not stinging owing to the lack of sulfur compounds, typical of other edible species of the genus.

The growing technique is entrusted to the empirical knowledge of local farmers as handed down through generations without the support of specific scientific research on biological, eco-physiological and agronomic needs.

The aim of the present research was to evaluate the effect of nitrogen availability on the growth and production of aglione through the application of increasing amount of nitrogen fertilization and the determination of the main eco-physiological and productive parameters.

1 – INTRODUZIONE

1.1 – Il Territorio della Valdichiana: geografia e bonifica della palude

“La Val di Chiana è di tutte le parti della Toscana la più fertile, la più popolata e la più importante. Questa valle che comincia dalle Poggiola, 3 miglia distante d’Arezzo, è larga fra le 4 e le 7 miglia, è circondata da colline e più indietro da montagne” (Silvestrini, 1974).

Durante l’orogenesi dell’Appennino si formano gli alti strutturali che delimitano il bacino della Valdichiana: a est ritroviamo la dorsale Alpe di Poti - M. Murlo – Pratomagno, che continua fino ai rilievi del comune di Cortona (Monte Castel Giudeo e Alta S. Egidio), a ovest i Monti del Chianti e infine, a sud-ovest i rilievi di Rapolano-Cetona nei comuni senesi. Gli elementi strutturali che caratterizzano le due dorsali sono la Falda Toscana e l’Unità Cervarola - Falterona, entrambe differenziate durante le fasi mioceniche (7 – 5,5 milioni di anni fa) del sollevamento appenninico dove affiorano in prevalenza di unità torbiditico-arenacee (sedimenti clastici) e subordinatamente argilloso-marnose (Piano Paesaggistico della Toscana, 2014). La vallata si trasforma in acquitrino - palude nel Quaternario inferiore (oltre 2 milioni di anni fa), a seguito di sollevamenti a blocchi e basculamenti verso est provocando la regressione marina che trasforma la Val di Chiana in un grande lago, con la parte più profonda verso est, in corrispondenza dell’attuale lago Trasimeno. I movimenti differenziali esumano, quindi, la soglia del fiume *Clanis* e contribuiscono alla deviazione del paleo - Arno verso nord-ovest e al riempimento del bacino di Arezzo; la riduzione di portata idrica ed il forte apporto di sedimenti dai torrenti minori portano alla progressiva estinzione del lago, con l’eccezione della parte più profonda, corrispondente all’attuale Lago Trasimeno (Piano Paesaggistico della Toscana, 2014). La navigazione del fiume *Clanis* è stata per secoli il principale sistema di trasporto delle merci e delle persone, soprattutto grazie alla realizzazione di numerosi porti in epoca romana. Nei secoli, le bonifiche della valle sono proseguite con lente ed isolate opere idrauliche, sino ad arrivare al periodo del Granducato di Toscana, in cui vennero presi dei provvedimenti importanti a livello di tutto il comprensorio vallivo.

Per la descrizione del luogo di “origine” dell’aglione, si incontrano delle difficoltà importanti nella definizione dell’area geografica, soprattutto in virtù delle numerose “Terre di confine”, che, come descritto da Citterio e Guastaldi (2019) nel libro *“Quattro passi in Valdichiana – nella terra dell’aglione”*, per secoli hanno segnato questo territorio, prima diviso tra Arezzo, Perugia, Orvieto e Siena, poi tra il Papato e le Repubbliche di Siena e Firenze, e infine tra il Granducato di Toscana e lo Stato della Chiesa che tuttora, per la parte della Valdichiana che “fu del Papa”, viene definita “Chiana Romana”. Un grande elemento di divisione della vallata fu sicuramente la palude che per secoli ne occupò buona parte e della cui estensione ci si può fare un’idea osservando la mappa realizzata da Leonardo da Vinci (Figura 1), il quale, per breve tempo, si occupò della sua bonifica.



Figura 1: Mappa della Valdichiana realizzata da Leonardo da Vinci nel 1502.

Il territorio della Valdichiana nella sua geografia originaria è percorso dal fiume *Clanis* oggi canale Maestro della Chiana. Il fiume *Clanis*, per le popolazioni che nella vallata sono vissute, è stato per lungo tempo via di comunicazione e un'importante fonte alimentare. Già Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) nella sua *Historia Naturalis* parla della Valdichiana ricordandola come bacino *Clanis Aretinum* e, dalla geografia della vallata, ancora oggi, si riesce a comprendere il percorso del vecchio fiume che andava a formare il lago paludoso che per secoli l'ha occupata.

Non è questa la sede per andare a descrivere le opere idrauliche di bonifica che si sono susseguite nella valle, del resto la bibliografia legata all'argomento non manca; quello che si vuole ricordare è che il vecchio fiume *Clanis*, che in tempi remoti scorreva verso sud, a seguito delle opere del 1338, con la realizzazione del primo tratto del canale Maestro della Chiana nella zona di Arezzo eseguite allo scopo di permettere all'acqua di quelle aree di defluire verso l'Arno, iniziò a scorrere, in parte, verso nord (Figura 2). A conferma dell'enorme importanza della zona e soprattutto delle condizioni precarie di vita della popolazione residente, ai più importanti idraulici e matematici del '400 e del '600, come Antonio Ricasoli, Galileo Galilei ed Evangelista Torricelli, fu affidato il compito di redigere un piano idrometrico per il bacino della Chiana, cercando di eliminare le problematiche che da sempre lo affliggevano. Torricelli, nella prima metà del 1600, riteneva che il metodo delle colmate fosse l'unico per risanare la vallata; questa idea fu poi ripresa da Fossombroni alla fine del 1700. L'ipotesi principale, alternativa alla colmata, era quella di far defluire le acque per mezzo di canali di scolo, attraverso l'approfondimento del canale Maestro, sotto al livello idrometrico dell'Arno, rendendo necessario un sistema di sollevamento dell'acqua nella parte finale del tragitto; questa ipotesi si rivelò fattibile ma onerosa e complessa al punto da preferire la colmata dei territori paludosi attraverso la realizzazione delle colmate (Citterio e Guastaldi, 2019). Il culmine delle opere di bonifica si realizzò con il passaggio della valle agli Asburgo Lorena nella prima metà del 1700 con una politica territoriale ampia e incentrata nell'agricoltura della zona della Chiana.

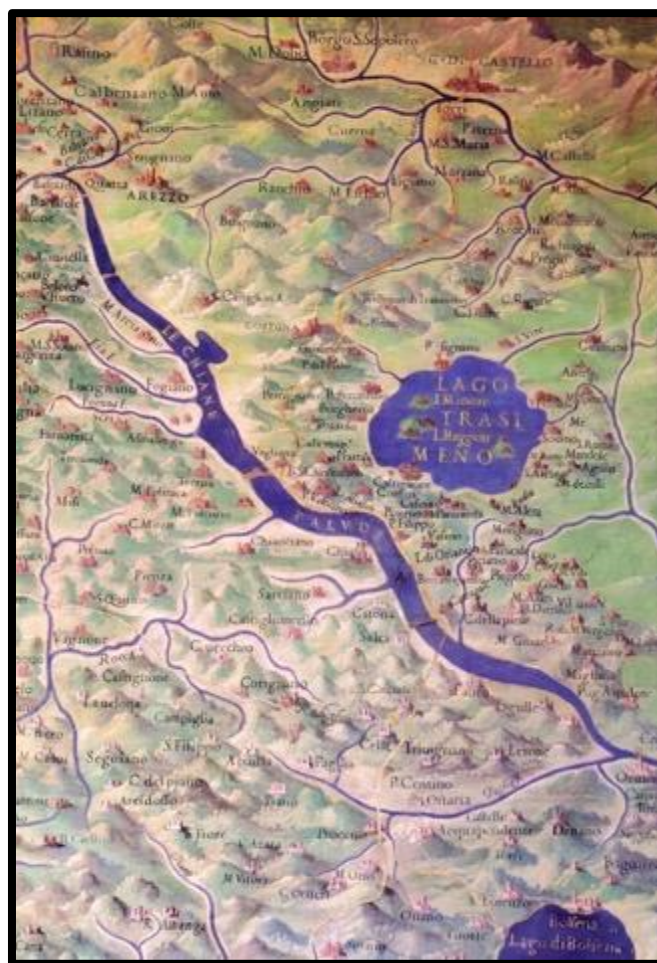


Figura 2: “Etruria. Caeli, temperie, Agrorum” (Ignazio Danti, XIV secolo, da: Quattro passi in Valdichiana nella terra dell’Aglione, 2019)

Le colmate (Figura 3) sono una tipologia di bonifica idraulica che prevede lo sfruttamento del trasporto solido dei fiumi per accentuare il processo naturale di colmatazione che porta alla formazione di pianure alluvionali. L’acqua viene immessa nel canale colmatore, che porta alle casse di deposito solido, durante gli eventi di piena quando la portata solida è maggiore. In sintesi, si prevedeva di recintare la zona allagata con un argine in terra battuta, nella quale venivano convogliate le acque torbide dei torrenti e, durante il periodo di decantazione, della durata subordinata alla piovosità, le acque chiarificate venivano fatte fuoriuscire per sfioramento dal lato opposto rispetto a quello in entrata. A processo terminato, il terreno si presentava rialzato rispetto a quelli circostanti e, per il tipo di materiale con cui si era formato, che proveniva dai boschi delle colline circostanti, risultava eccezionalmente fertile (Citterio e Guastaldi, 2019). Rimasero poche le aree paludose e le operazioni da svolgere per completare la bonifica, terminata poi nel ventennio fascista.

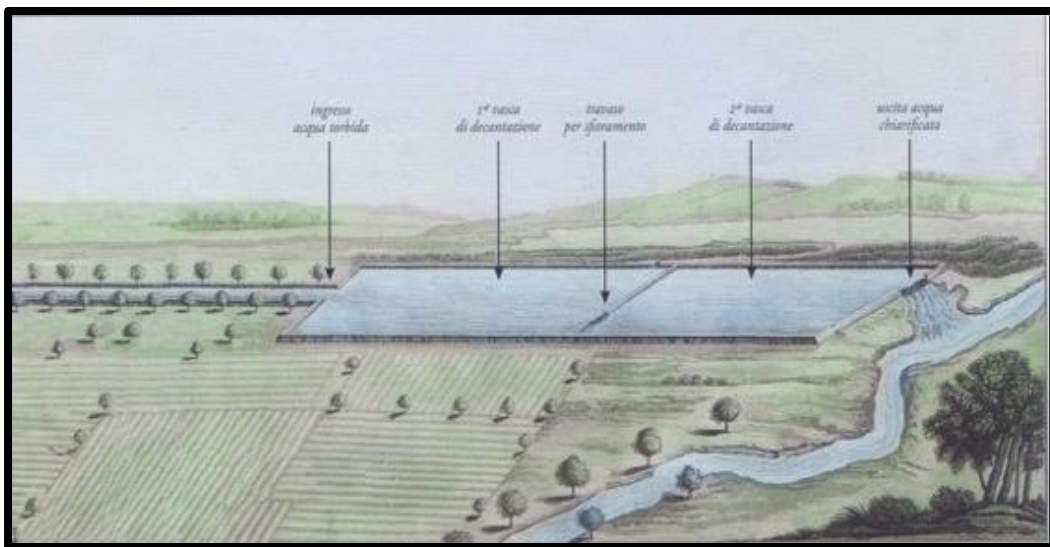


Figura 3: Schema di una colmata, Passerini 1809 (da: Quattro passi in Valdichiana, nella terra dell'aglione, 2019)

Fu proprio attraverso le colmate che il territorio paludoso della valle fu prosciugato e diede vita alla pianura fertile che conosciamo ancora oggi e che fu, in parte, descritta dal filosofo tedesco Goethe alla fine del '700.

Nel suo *Viaggio in Italia* Goethe scrive, a proposito della Valdichiana: “Qui si ara la terra profondamente, senz’arrivare però sotto lo strato vegetale. L’aratro poi non ha ruote, ed il vomero di quello non è mobile. Il Bifolco lo guida stando curvato sovr’esso, dietro i suoi buoi, e per tal modo smuovere il terreno. Lo lavorano per fino cinque volte, e spargono poco concime colla mano. Finalmente seminano il grano, aprendo solchi nei campi per dare scolo alle acque piovane; il grano cresce sulla parte del suolo sollevata fra i solchi, e questi servono a dare passaggio agli agricoltori quando si vuole penetrare nei campi, per isvellere le erbe cattive. Questo metodo di coltivazione si spiega per sé dove si ha da temere l’umidità, ma io non ho potuto comprendere perché lo si osservi del pari, dove non havvi ombra di questo timore. Facevo questa osservazione in vicinanza di Arezzo, dove si estende una magnifica pianura. Non è possibile vedere campi più belli; non vi ha una gola di terreno la quale non sia lavorata alla perfezione e preparata alla semina. Il frumento vi cresce rigoglioso, e sembra rinvenire in questi terreni tutte le condizioni a farlo prosperare. Nel secondo anno coltivano fave per i cavalli, imperocchè, qui non conosce avena. Seminano pure i lupini, i quali ora son già verdi e portano i loro frutti nel mese di marzo. Il lino pure è già seminato; sta nella terra tutto l’inverno, ed il freddo, il gelo, lo rendono più tenace. Gli olivi sono alberi meravigliosi, verdi quanto una prateria. 25 Ottobre 1786.”

Da questa breve descrizione del filosofo tedesco, si comprende appieno la tradizione tipica degli ambienti della Valdichiana, caratterizzati soprattutto da campi di frumento e da alberi di olivo. È impressionante capire come molte delle

tradizioni non siano state mai abbandonate, il grano, le fave e gli olivi si tramandano da generazioni in questi ambienti, compresa l'aratura profonda e la tradizione coltivatrice. Non si ha nessun accenno di Goethe alla bonifica della vallata che ancora riporta i segni indelebili della sua realizzazione. Le figure che seguono (Figura 4, Figura 5) sono una rappresentazione della Valdichiana realizzate con il software di analisi geografica dei dati Quantum GIS (QGIS versione 3.10, 2020).

Ovviamente, il vecchio fiume *Clanis* non compare nelle moderne tavole georeferenziate, poiché, con le bonifiche, il corso del fiume è mutato, è stato sostituito da altri torrenti nella zona sud est della vallata ma nella sua lunghezza principale è stato soppiantato dal canale Maestro della Chiana, tutt'oggi la principale via di deflusso delle acque meteoriche del bacino della vallata. Il fiume scorre verso nord, dal lago di Montepulciano, sino alla chiusa dei Monaci, in cui si immette nel fiume Arno.

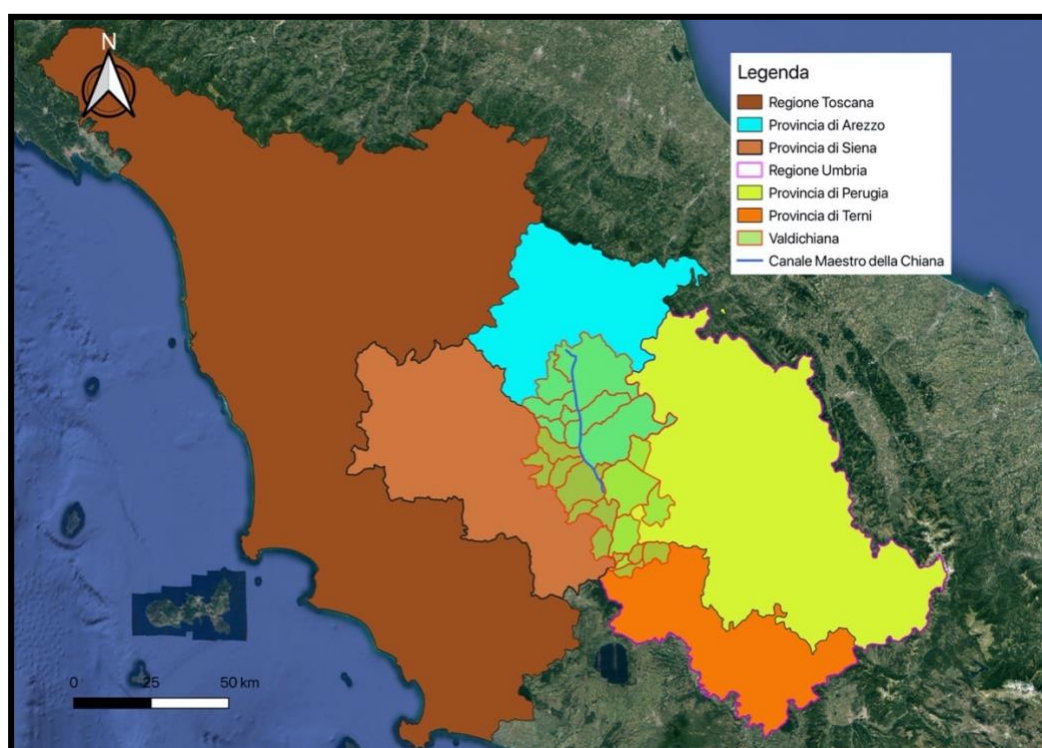


Figura 4: Vista d'insieme e collocazione della Valdichiana geografica. Come si può apprezzare dalla legenda, i comuni che la compongono fanno parte di 4 province: 2 toscane e 2 umbre, ed è attraversata dal canale Maestro della Chiana.

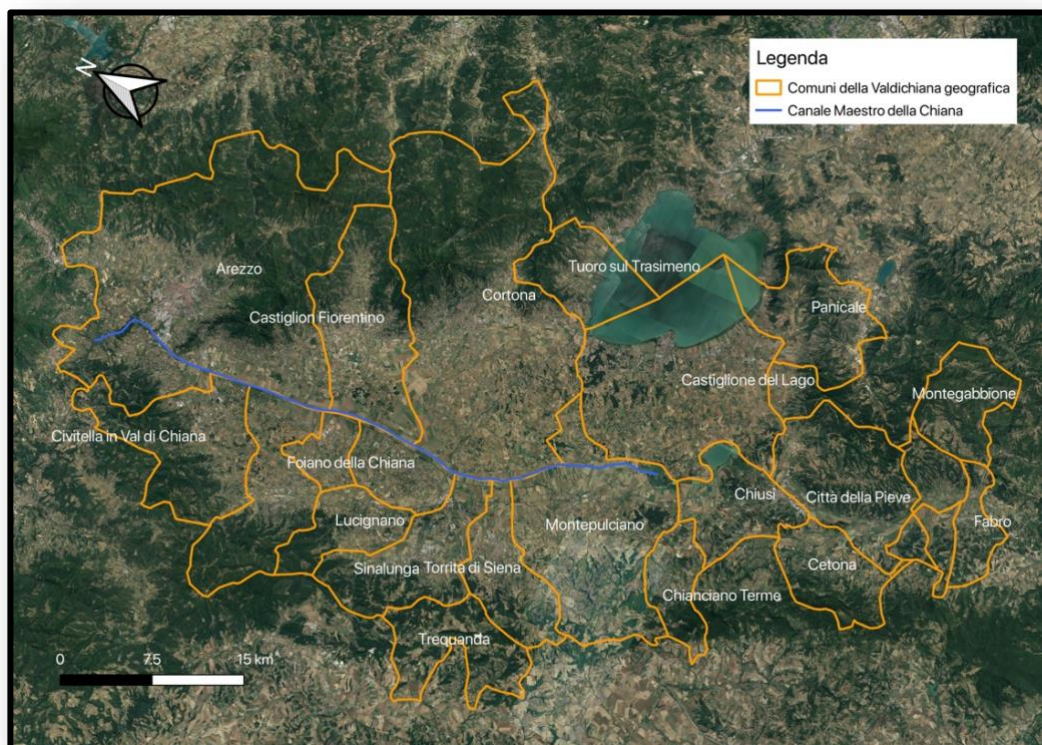


Figura 5: Comuni della Valdichiana geografica come descritti da Citterio e Guastaldi (2019).

1.2 – Sistematica del genere *Allium*

L'aglione della Valdichiana, botanicamente conosciuto, con molta probabilità, come *Allium ampeloprasum* L. var. *holmense* Mill., è una specie appartenente al genere *Allium*. Il genere, appartiene alla famiglia *Amaryllidaceae* J.St.-Hil., sottofamiglia *Allioideae* Herb., tribù *Allieae* Dumort. (Fay e Chase, 1996; APG III, 2009; Chase et al., 2009) e comprende oltre 800 specie (Terzaroli, 2018). Si tratta di uno dei più grandi generi botanici appartenenti alla classe *Liliopsida*.

Alcune specie sono coltivate a scopo alimentare e ornamentale, ma la maggior parte sono piante spontanee di cui alcune infestanti delle colture agrarie.

Questo genere ha il maggior centro di diversità che si estende dal bacino del Mediterraneo fino all'Asia centrale e al Pakistan (Li et al., 2010) e un secondo centro, meno esteso, localizzato nell'ovest del Nord America (Li et al., 2010). La vasta area e le nette differenze molecolari indicano che questo genere era probabilmente già differenziato agli inizi del Terziario (Hanelt et al., 1992; Dubouzet e Shinoda, 1999, Terzaroli, 2018). *Allium ampeloprasum* L. è un complesso di specie che include diversi citotipi, distribuiti in tutti i paesi che si



affacciano sul bacino del mediterraneo, a partire dal Nord Africa, Asia sud – occidentale sino al sud dell’Inghilterra (Hanelt, 1990). Il complesso di specie di *Allium ampeloprasum* è formato da quattro pool genici: porro selvatico, cultivar di porro europeo [*A. ampeloprasum* var. *porrum* (L.) J. Gay], *kurrat* egiziano [*A. ampeloprasum* var. *Kurrat* (L.) Schweinf] ed infine il *great-headed garlic* [*Allium ampeloprasum* var. *holmense* (Mill) Asch. Et Graebn].

Il genere *Allium* è da sempre motivo di opinioni contrastanti per i tassonomi vegetali, come è evidente dagli studi condotti da Hanelt *et al.*, (1992), Cheremushkina (1992), Kamenetsky (1996), Fritsch e Friesen (2002), Maass e Klaas (1995), Mes *et al.*, (1997, 1999), Xingjin *et al.*, (2000) e Van Raamsdonk *et al.*, (2003). Recentemente, lo studio e il sequenziamento genico del DNA nucleare e plastidiale ha permesso una classificazione botanica univoca e universale basata sulla classificazione APG III delle piante angiosperme (Angiosperm Phylogeny Group, 2009). Hanelt *et al.*, (1992) hanno proposto una suddivisione del genere in 6 sub-genera, 57 sezioni e relative sottosezioni, a cui appartengono tutte le specie conosciute, ulteriormente aggiornata a 14 sub genera.

1.3 – *Allium ampeloprasum* L. var. *holmense* (Mill.) Asch. Et Graebn, storia e genetica della specie

A. ampeloprasum var. *holmense* (Mill.) Asch. Et Graebn, probabilmente l’aglione della Valdichiana (Figura 6); per Guenaoui *et al.*, (2012) è la specie conosciuta all'estero con i nomi comuni di *great-headed garlic* (GHG), *elephant garlic*, *big tex garlic* o *tahiti garlic*. Questa specie è caratterizzata da grandi bulbilli e un bulbo molto più grosso (fino a oltre 1000 g) rispetto all’aglio comune (Terzaroli, 2018). Nel panorama orticolo nazionale, possiamo definire l’aglione, un prodotto di nicchia soprattutto per l’attaccamento al territorio della Valdichiana e per le esigue superfici coltivate. Si tratta di un particolare aglio dal “capo grosso” che, rispetto all’aglio comune, ha un odore molto più blando o addirittura assente, per il minor contenuto di alliina (solfoossido della cisteina) e di altri composti solforati (isoalliina e metiina). Questi composti solforati, sono insapori ed inodori quando si trovano all’interno del citoplasma ma, nel momento in cui delle operazioni meccaniche mettono a contatto l’alliina con l’enzima alliinasi, presente nel vacuolo cellulare, questa viene idrolizzata, formando diversi tiosulfinati tra i quali l’allicina (diallil tiosulfonato) che conferisce il tipico odore pungente. L’enzima alliinasi, viene attivato a pH acidi (pH<3) o elevate temperature (Tremori e Santiccioli, 2016).

Senza addentrarci troppo nella sistematica del genere *Allium*, si vuole solo accennare la definizione di varietà locale, meglio nota come “*landrace*”. Per arrivare a questa definizione, è importante ripercorrere velocemente la storia della specie che non ha un inizio ben preciso poiché, le documentazioni storiche pervenute e tramandate nei testi non sono molte e, al tempo stesso, poco chiare. Quello che a noi è caro, è il racconto orale, tramandato per generazioni dalle famiglie mezzadre e dai coloni della Valdichiana, le cui le testimonianze si stanno esaurendo.



Figura 6: Aglione di Valdichiana

Le prime notizie sulla coltivazione dell'*Allium ampeloprasum* L. in Valdichiana, risalgono agli Etruschi (Giulierini, 2006; Cocomazzi, 2008), i quali dapprima si limitavano a raccogliere le piante spontanee per aromatizzare i cibi e, solo successivamente lo misero a coltura (Tremori e Santiccioli, 2016). Quello che si presume essere raccolto e consumato dalle popolazioni dell'Etruria, a partire dal IX sec. a. C. è il "Porraccio" o "Porranello" botanicamente *A. ampeloprasum* L.

Notizie di dettaglio circa la coltivazione e l'utilizzo si hanno a partire dal 1500 d.C. (www.aglione.it): Cristoforo di Messibugo (Figura 7), cuoco ferrarese della famiglia d'Este, nel 1549 nel suo "*Banchetti, composizione di vivande e apparecchio generale*" afferma: "...Aglione sopra pesci, rane, lumache e altro simile...". Con la testimonianza di Andrea Brizzi, notaio e segretario comunale dell'Isola del Giglio alla metà del 1800, si afferma che nel 1544 si espande l'aglione della Chiana anche nell'isola del Giglio poiché il pirata Barbarossa saccheggiò l'isola e deportò come schiavi a Costantinopoli, oltre 700 gigliesi. In seguito a questa sanguinosa incursione, la famiglia dei Medici ripopolò l'isola con abitanti provenienti dalla Valdichiana che probabilmente portarono con sé anche la semente degli ortaggi e i "capi più belli" di aglione, iniziando così la coltivazione anche nelle isole Toscane. Nel 1861, Thomaso Garzoni con "*La Piazza Universale di tutte le professioni del mondo, De' Cuochi et altri ministri simili come Scalchi, Gnatari,*

Credenzieri, Trinciati...” afferma: «...così i sapori vari e diversi come il Francese o Imperiale [...] l’agliata, l’aglione, l’agresto...».



Figura 7: Cristoforo di Messibugo, 1549



Figura 8: Antonio Genovesi, 1805

Arrivando alla metà dell’800, Guglielmo Gasparrini nella sua monografia “Breve ragguaglio dell’agricoltura e pastorizia del Regno di Napoli di qua del Faro” del 1845, riferisce che in Campania precisamente ad Ischia, un tipo di aglio grosso viene chiamato aglione o “porrandello”.

Nella “Biblioteca di campagna: ossia raccolta di memorie, osservazioni ed esperienze agrarie” (Figura 8) si legge: “Avvi poi un’altra specie d’aglio più grossa del comune, e di un sapore meno acuto, e chiamato Aglione nell’Isola d’Ischia dove coltivasi. Quest’aglio differisce dal comune perché non ha il bulbo principale ricoperto da’ spicchi accavallati l’uno sopra l’altro. Esso non ha che cinque al più sei spicchi, i quali fanno corona al fusto della pianta. L’aglione coltivasi come l’aglio comune...” (Tremori e Santiccioli, 2016). E poi ancora Michele Tenore, celebre botanico e accademico Italiano, nella sua “Flora medica universale e flora particolare della provincia di Napoli”, tomo I, Napoli 1822, afferma che: “Nascono ambedue le varietà lungo i margini de’ campi, e più frequentemente la prima in Ischia; ove si conosce col nome di aglione...”

Concludendo questo percorso storico, l’aglione viene citato anche nel 1851, nel giornale L’Etruria: “Studj di Filologia di Letteratura di Pubblica Istruzione e di Belle Arti” che racconta l’Ajone: Favola narrativa burlesca di Michelangelo Buonarroti «Che fanno ai fondi dell’Aglione il trogo: / Aglione è ’l montie ov’ha Figlin albergo / Ch’al castel di Gambassi sta sul tergo...».

A tutto ciò che esiste di letterario, si aggiungono le narrazioni verbali e popolari, di cui è molto importante fare accenno in relazione a quell’attaccamento locale alla specie.



Esperienza personale, riguardante la mezzadria e la coltivazione dell'aglione, l'ho potuta ottenere tramite il racconto di mia bisnonna paterna poiché fin da bambino ero appassionato alla vita contadina, alla casa colonica in cui abitava, ai lavori che lei e la propria famiglia svolgevano. Il podere in cui erano contadini si trova nel comune di Cortona, aveva una superficie di circa quindici ettari con una casa colonica, la classica “leopoldina toscana”, in cui abitavano ben 17 persone. La struttura della casa è molto semplice, consta di un pian terreno in cui era costruita una stalla in cui gli animali vivevano stabulati e un piano superiore in cui si poteva abitare. Al centro della stanza, addossato a una parete, si ergeva un grande camino utilizzato per cucinare e scaldare la casa. Il letto in cui andavano a coricarsi era formato di paglia molto compressa all'interno di lenzuola, tessute al telaio, che assolvevano la funzione di contenitore. L'aglione era una coltura che non sempre era coltivata dagli agricoltori ma, nell'orto familiare, alcuni avevano il piacere di poterlo fare. Veniva molto spesso consumato cotto, ma non come possiamo pensare noi adesso cioè come condimento dei classici pici, ma bensì cotto al fuoco e mangiato privo di condimento, in dialetto cortonese si dice tuttora che molti consumavano l'aglione a “specce cotte su di un tizzolo di brage” cioè si mangiava a spicchi i quali, erano cotti sopra la brace. La vendita, a quel tempo, non era molto comune, infatti, era esclusivamente consumato e riutilizzato per la piantagione l'anno successivo.

I racconti della storia contadina, dell'inizio del '900, presupporrebbero libri interi, ricchi di notizie e tecniche “agronomiche” oramai dimenticate.

1.4 – Le varietà locali (“Landraces”)

Il breve *excursus* storico ci permette di ritornare da dove eravamo partiti, la definizione di varietà locale. “Una varietà locale è una popolazione variabile, che è identificabile e generalmente ha un nome locale, non è stata sottoposta a miglioramento genetico formale, è caratterizzata da adattamento specifico alle condizioni ambientali dell'area di coltivazione, è strettamente associata con le tradizioni, gli usi, le conoscenze, le abitudini e i dialetti e le festività delle popolazioni umane che l'hanno sviluppata e continuano a coltivarla” (Polegri e Negri, 2010; Negri, 2003, 2005; Camacho Villa *et al.*, 2005; Asfaw, 2000; Zeven 1998; Papa, 1996, 1999; Brush, 1992, 1995; Harlan, 1992). In questa definizione ogni singola parola ha un suo ben preciso significato sia genetico che agronomico. Per comprendere meglio questi aspetti dobbiamo fare un cenno alle più importanti assunzioni scientifiche in essa contenute:

- “...popolazione...”: nella genetica classica, con il termine popolazione, si fa riferimento ad un gruppo di individui interfertili, che occupa una certa area, e che la loro continuità temporale, è assicurata dal succedersi delle generazioni (Lorenzetti *et al.*, 2015). I singoli individui scompaiono con la morte ma la popolazione è mantenuta nelle generazioni. In questa breve definizione, vengono



riassunti molti concetti, che stanno alla base delle varietà locali che in un determinato territorio sono state selezionate attraverso i secoli di coltivazione;

- “...non è stata sottoposta a miglioramento genetico formale... è caratterizzata da adattamento specifico alle condizioni ambientali dell'area di coltivazione...”: il miglioramento genetico che si riscontra nelle varietà locali è frutto di selezione portata avanti dagli agricoltori, che a partire dal processo di domesticazione ha favorito alcuni individui rispetto ad altri all'interno della popolazione; molto spesso vengono favoriti per aspetti fenotipici legati a tratti maggiormente curiosi, apprezzati e selezionati. Oltre alla natura umana, siamo di fronte a selezione ambientale, con adattamento a nuove condizioni pedo – climatiche e territoriali. Nel ripercorrere la storia di questa coltura abbiamo accennato alla coltivazione nell'isola del Giglio e in Campania, nell'isola di Ischia; questo aspetto è importante ai fini delle popolazioni che nei diversi ambienti, nonostante vi sia una propagazione vegetativa, sono riuscite a sopravvivere e ad essere coltivate. Da un primo screening molecolare (Terzaroli, 2015) si è evidenziata poca diversità genetica all'interno della varietà locale, ragionevolmente con il percorso storico della specie, che alla fine degli anni '90 vede la coltivazione solo in piccolissime superfici familiari e pochi individui. Oltre a questo, la spiegazione scientifica risiede nella natura della propagazione vegetativa, che produce cloni delle piante madri (Figliuolo e Di Stefano, 2007);
- “... associata agli usi, alle conoscenze, alle abitudini, ai dialetti, alle festività...”: questo aspetto è stato ampiamente visualizzato testualmente nella descrizione storica della specie, si parte dalla cucina, con il celebre cuoco d'Este, arrivando alla tradizione popolare del dialetto cortonese con cui si appellava all'aglione passando per la narrazione dell'Etruria. Si tratta di un processo che esiste da generazioni e che rappresenta il centro del mantenimento delle varietà locali a cui gli agricoltori sono attaccati; agricoltori che conservano il “seme”, il materiale di propagazione, che ha resistito al tempo, sopravvissuto all'estinzione e tramandato nelle generazioni fino ai giorni nostri in cui la riscoperta ha vinto sull'oblio delle risorse genetiche agrarie. A differenza delle moderne cultivar delle specie coltivate, per cui gli stock genetici e le linee di riproduzione sono conservate da *breeders* e banche del germoplasma, i progenitori selvatici¹, gli

¹ Un progenitore selvatico di una pianta coltivata (*Crop Wild Relative*, CWR) può essere genericamente definito come un *taxon* che ha relazioni di filogenetiche con la pianta stessa. Praticamente, per identificare un *taxon* come progenitore selvatico di una certa pianta coltivata, si fa principale riferimento al concetto di ‘pool genico’ di Harlan and de Wet (1971) che è basato sulle relazioni di fertilità fra *taxa* diversi e la pianta stessa. La presenza di alcuni geni che non si trovano nelle varietà coltivate, permettono di incrementare la produttività, la qualità e la resistenza/tolleranza agli stress biotici ed abiotici attraverso il miglioramento genetico vegetale poiché i *taxa* selvatici continuano la propria evoluzione, mostrando tratti genetici legati alla resistenza agli stress, alle patologie e ai cambiamenti climatici.



ecotipi² e le varietà locali devono ancora essere conservate attivamente (Wood e Lenne³, 1997; Gepts, 2006; Polegri e Negri, 2010).

Nell'attuale scenario legato ai cambiamenti climatici, la conservazione *in situ*³ delle risorse genetiche vegetali per l'alimentazione e l'agricoltura può contribuire notevolmente ed in modo significativo, nell'ampliamento della diversità del nostro sistema alimentare, aumentandone la resilienza (Raggi *et al.*, 2021). Uno degli approcci più efficaci per contrastare la perdita della diversità delle varietà locali *in situ* è facilitarne il proprio utilizzo (Raggi *et al.*, 2021). L'approvvigionamento alimentare futuro dipende da poche importanti colture sempre più soggette ed esposte ad impatti estremi ed incerti del cambiamento climatico (Nelson *et al.*, 2009). Il report FAO (2019) conclude che in questo scenario stiamo assistendo ad un tasso eccezionalmente alto di perdita di biodiversità, che è fondamentale per la resilienza degli ecosistemi, offrendo effetti tampone per far fronte a drammatiche fluttuazioni ambientali che colpiscono le comunità all'interno degli ecosistemi (Altieri, 1999; Newton *et al.*, 2009; Raggi *et al.*, 2021). Oltre a questi aspetti, l'incremento nell'utilizzo di fertilizzanti, agrofarmaci ed erbicidi, oltre alla semplificazione dei sistemi agricoli, ha significativamente ridotto la diversità biologica dei nostri agroecosistemi, in termini di macro e microorganismi, sopra e sotto il suolo (Caproni *et al.*, 2019; Wagg *et al.*, 2014; Giller *et al.*, 1997), compromettendo gli effetti benefici che la biodiversità ha sulla produttività delle colture (Carvalho *et al.*, 2011), sulla salute (Ceccarelli, 2019) e sul mantenimento degli agroecosistemi per le generazioni future (Cardinale *et al.*, 2012).

A differenza della maggior parte delle specie coltivate l'aglio non si propaga sessualmente ma solo in forma vegetativa poiché la specie, non è in grado, come altre specie appartenenti al genere *Allium*, di produrre semi fertili (Guenauoui *et al.*, 2012, Terzaroli, 2015, 2018.). La coltivazione della specie, prevede quindi la propagazione vegetativa attraverso gli organi sotterranei di cui il bulbo si compone: i bulbilli. Questa caratteristica specifica ha trovato riscontro anche nello screening molecolare (Terzaroli, 2015) in cui si evidenzia poca diversità genetica.

Il processo di domesticazione (Negri, 2018) è il primo passo verso la selezione e la nascita delle varietà locali; si tratta di un processo selettivo che porta piante ed animali ad adattarsi alle condizioni di coltivazione e di allevamento. Questo adattamento alle nuove condizioni in cui gli individui si sono trovati, non ha comportato la nascita di nuove specie, ad eccezione di *Triticum aestivum* L., non è avvenuta la speciazione ma viste le enormi differenze somatiche e fenotipiche, rispetto ai progenitori selvatici, nel tempo, i tassonomi le hanno spesso classificate

² Gli ecotipi sono un insieme di individui che, pur appartenendo alla stessa specie botanica, si sono adattati a condizioni climatiche e ambientali particolari, ciascuno in base al proprio ambiente.

³ Con il termine conservazione *in situ*, si fa riferimento al mantenimento di specie e popolazioni nell'ambiente a cui sono adattate.



come specie distinte. Ovviamente si tratta di una selezione che può essere definita sia conscia che inconscia, nata millenni fa in zone precise del pianeta. L'uomo ha da sempre “selezionato” individui vantaggiosi in termini di coltivazione e di allevamento, continuando sino al momento in cui la popolazione è dominata dal fenotipo vantaggioso. Tutte le piante coltivate, che noi conosciamo, sono state sottoposte a questo processo di domesticazione evidenziato da alcuni tratti caratteristici geneticamente determinanti noti come “sindrome di domesticazione”⁴ (Hammer, 1984; Harlan 1992).

Vavilov, nel 1926, sviluppò una teoria sui centri di origine delle piante coltivate affermando che esistono, per ogni specie, delle regioni in cui è avvenuto il processo di domesticazione, identificando nel centro di origine il centro di maggiore diversità. Si afferma inoltre che la selezione ambientale opera nello stesso modo lungo il corso della storia evolutiva di una specie o di un gruppo biologico; quindi più a lungo una specie occupa una data area più grande dovrebbe essere il numero di varianti che essa produce. Il centro di origine è quindi l'area che contiene la più alta variabilità della specie. Le specie coltivate del genere *Allium*, a cui l'aglio fa riferimento, secondo i centri di origine e di diversità di Vavilov si estende lungo il bacino del mediterraneo, in particolare, questo genere ha il maggior centro di diversità che si estende dal bacino del Mediterraneo fino all'Asia Centrale e al Pakistan e un secondo centro, meno esteso, localizzato nell'ovest del Nord America (Li *et al.*, 2010). Nello specifico, come centro di origine per *A. ampeloprasum* viene proposto il Nord Africa e l'Asia sud occidentale (McCollum, 1987) oltre a ciò, la regione Mediterranea è stata postulata come secondo centro di diversità di *Allium sativum* (Figliuolo *et al.*, 2001).

Figliuolo *et al.* (2001) affermano che *A. ampeloprasum* è rappresentato da una gamma di citotipi comprendenti non solo il “*great-headed garlic*”, geneticamente un esaploide ($2n = 6x = 48$), ma anche le forme coltivate di porro e di *kurrat*, tetraploidi ($2n = 4x = 32$). Per l'aglio comune invece si evidenzia un corredo genetico diploide ($2n = 2x = 16$) con numero cromosomico di base pari a 8, comune per tutte le specie menzionate. Tremori e Santiccioli (2016) ritengono che l'aglio sia derivato da una fortuita riproduzione tra due progenitori selvatici, che avrebbe prodotto la moltiplicazione del corredo genetico, conosciuta come poliploidia, e quindi la nascita di individui dal “capo grosso”.

Dal punto di vista delle risorse genetiche agrarie, le varietà locali sono una parte della biodiversità vegetale che occorre preservare e mantenere per le future generazioni. L'importanza della biodiversità è nota da molto tempo; vi sono infatti

⁴ Tutte le piante domestiche mostrano, rispetto ai relativi progenitori selvatici, alcuni tratti caratteristici geneticamente determinati: assenza di dispersione dei semi, assenza di dormienza del seme, habitus compatto, parti della pianta raccolte di dimensioni maggiori, fotoindifferenza, incremento della fertilità... (Sindrome di domesticazione, SDD; Hammer, 1984).



susseguite a livello mondiale delle conferenze sulla biodiversità e sul loro mantenimento *in situ* ed *ex situ*.

Dopo la penisola iberica e le isole baleariche, l'area italiana è quella più ricca in termini di numero di specie dell'intera Europa (Bilz *et al.*, 2011; Conti *et al.*, 2005). L'Italia, pur avendo una superficie piccola in confronto all'intero continente, ospita circa metà delle specie d'Europa. Con specifico riferimento alle Risorse Genetiche Agrarie, è ben noto che l'area Mediterranea è un importante centro di origine e diversificazione per le piante coltivate (Vavilov, 1926, Negri, 2018).

L'Italia:

- è fra i cinque paesi europei che hanno maggior ricchezza di specie vegetali (gli altri sono la Grecia, la Spagna, la Francia e la Bulgaria) (Harlan, 1995; Heywood e Skoula, 1997, 1999; Heywood, 1998, 2009; Skoula *et al.*, 2003; Skoula e Johnson, 2006);
- ha la quarta più alta concentrazione di progenitori selvatici di forme coltivate di importanza prioritaria mondiale (Vincent *et al.*, 2013);
- ha almeno 329 specie coltivate come varietà locali (Negri *et al.*, 2013).

Prima in Europa, l'Italia si è anche dotata di specifica legislazione regionale e nazionale per la protezione per le Risorse Genetiche Agrarie. Alcune Regioni italiane hanno anticipato la legislazione nazionale. La legislazione regionale in merito alla conservazione delle Risorse Genetiche Agrarie menziona anche i *taxa* selvatici. Attualmente sono in vigore e vengono poste in essere le disposizioni relative alle leggi regionali della Toscana (legge n. 50/1997), del Lazio (n. 15/2000), dell'Umbria (n. 25/2001), del Friuli Venezia Giulia (n. 11/2002), delle Marche (n. 12/2003) e dell'Emilia Romagna (n. 1/2008). In riferimento alla regione Toscana, con Legge Regionale n. 64 del 16 novembre 2004 per la Tutela e valorizzazione del patrimonio di razze e varietà locali di interesse agrario, zootecnico e forestale e sulla base della stessa ha indetto la “Rete di conservazione e sicurezza delle risorse genetiche di specie vegetali”.

“La regione Toscana, è consapevole del fatto che le razze e le varietà locali rappresentano non soltanto un patrimonio collettivo, ma anche un vero e proprio punto di riferimento per l'identità culturale, sociale e agricola della regione, oltre che un fondamentale elemento per la sicurezza e la salubrità alimentare, senza dimenticare mai l'importanza globale della biodiversità, di cui le risorse genetiche agrarie e le varietà locali, fanno parte. Emerge dunque con forza la necessità di una tutela concreta di tale patrimonio che si avvalga di strumenti incisivi, di cui la regione Toscana si è dotata, come la *Rete regionale di conservazione e sicurezza*, la *Banca Regionale del Germoplasma* e, non ultimi, i *Coltivatori Custodi*; molte sono le varietà e razze locali individuate; più di 600 quelle già iscritte nel Repertorio regionale della Toscana. E il lavoro non è certo completo: alcune aree della regione, infatti, hanno in serbo “tesori” ancora da valorizzare, riscoprire e diffondere nella conoscenza sociale” (Arsia, regione Toscana, 2006).



In questo contesto è evidente come la conservazione *in situ* sia molto importante per l'aglione, vista la difficoltà nella conservazione *ex situ*⁵ del materiale di propagazione; difficoltà legata al mantenimento della vitalità delle accessioni⁶ che hanno la necessità di rinnovo annuale. Da questo preambolo si capisce come siano oggi gli agricoltori, così come lo sono stati nel passato, i veri responsabili della conservazione dell'aglione. Fu proprio grazie alla sensibilità degli agricoltori in Valdichiana che l'aglione è arrivato sino ai giorni nostri, attraversando un vero e proprio sprofondamento nell'oblio che nel tempo lo ha caratterizzato. La conservazione *ex situ* è molto importante soprattutto per sopperire a fenomeni ambientali gravi che potrebbero compromettere la maggior parte della diversità della specie senza riuscire più a recuperarla.

Con la nascita dell'*Associazione aglione di Valdichiana* e dell'*Associazione per la tutela e la promozione dell'aglione della Valdichiana* il rischio di erosione genetica si sta abbassando in virtù della diffusione della coltura e quindi dell'incremento delle superfici coltivate. Questo aspetto, tra tutte le considerazioni economiche sulla specie è sicuramente il più importante, riesce infatti ad esulare da concetti pragmatici per intraprendere una strada di concezione elevata, di benessere globale e di mantenimento della risorsa. L'incremento delle superfici e quindi delle produzioni, garantisce la diffusione della specie in tutto il territorio nazionale, grazie ad un lavoro di marketing e di commercializzazione si sta espandendo sempre di più la coltivazione e la conoscenza di questa specie attaccata al territorio.

Gli ultimi aggiornamenti fanno emergere che nelle due associazioni di tutela e di commercializzazione dell'aglione siano presenti circa una cinquantina di produttori. A questi si aggiungono una moltitudine di appassionati di coltivazione orticola che a livello familiare coltivano e tramandano da generazioni la conoscenza della specie. In questo contesto assai variegato è molto complesso fare delle stime sia circa la produzione sia circa l'entità delle superfici investite.

⁵ La conservazione *ex situ* fa riferimento ad una conservazione statica della biodiversità, al di fuori degli ambienti di adattamento di materiale genetico come piante, semi, pollini, propaguli, DNA. La maggior parte della diversità viene conservata in banche del germoplasma, collezioni viventi e orti botanici.

⁶ Si definiscono nel nostro caso accessioni i materiali viventi delle specie vegetali che vengono conservate nel lungo periodo in condizioni di stasi vegetativa all'interno delle banche del germoplasma, costituendo le collezioni di risorse genetiche agrarie.

2 – CARATTERISTICHE BOTANICHE

Botanicamente l'aglione è una geofita perennante cioè una pianta che trascorre la stagione climatica avversa sotto forma di bulbo; un organo sotterraneo che consente all'individuo di ricacciare e quindi riprendere l'attività vegetativa nel periodo favorevole in cui cessano le condizioni proibitive (Pasqua *et al.*, 2015).

Le salienti caratteristiche botaniche dell'aglione sono le seguenti (Finocchi, 2018):

- **apparato radicale** (Figura 9A): si presenta fascicolato e superficiale con un'importante estensione orizzontale (40 – 50 cm) e modesta in profondità (20 – 30 cm). Questo aspetto morfologico risalta il ciclo biologico in coltura, che coincide con il periodo ottobre – giugno, caratterizzato dalla traspirazione ridotta e dal superamento della stagione estiva, in natura, sotto forma di organo perennante (bulbo);
- **cormo** (Figura 9C): il fusto risulta metamorfosato e ridotto ad un dischetto denominato girello, dal diametro di qualche centimetro e dallo spessore di 0,5 cm. Nel fusto, a livello dei nodi, si inseriscono le foglie, le radici e i bulbilli. Il cormo possiede una gemma apicale costituita di un cono vegetativo rappresentato dalle cellule meristematiche, da cui trae origine il corpo primario del fusto e da una serie di bozze fogliari che lo avvolgono (Pasqua *et al.*, 2015);
- **bulbo** (Figura 9A): si tratta della parte edule della pianta, viene detto anche volgarmente “capo” o “testa”; di colore bianco – avorio e molto sviluppato con dimensioni medie che alla raccolta si aggirano attorno a 10 cm, con un peso che mediamente si attesta sui 300 g, con punte che possono superare anche il chilogrammo. Il bulbo si presenta ricoperto da foglie esterne di rivestimento di consistenza papiracea; le foglie interne che lo costituiscono sono molto succulente e disposte concentricamente sul cormo e portano all'ascella una gemma da cui si originerà il bulbillo (Tremori e Santiccioli, 2016);

- **bulbilli** (Figura 9B): ogni bulbo è costituito da 3 fino a 6 bulbilli dal peso notevole che può superare i 100 g. La forma del bulbillo è definita a castagna ed è estremamente aderenti al cormo; essi sono rivestiti di tuniche scabre e papiracee derivanti da foglie metamorfosate a protezione. Molto spesso, esternamente al bulbo, sono presenti dei piccoli bulbillini emisferici derivanti da gemme ascellari, inadatti alla propagazione e dannosi se lasciati in campo poiché fungono da infestanti della coltura in rotazione (Tremori e Santiccioli, 2016). Il **singolo bulbillo** è formato da più strati cellulari: partendo dall'esterno denotiamo una pellicola color avorio molto coriacea formata da più foglie metamorfosate che adempiscono la funzione protettiva; più internamente abbiamo foglie carnose e ricche di sostanze di riserva che formano l'intero volume del bulbillo e ancora più al centro troviamo gli assi fogliari (Figura 9D) adibiti alla stagione vegetativa successiva da cui si originerà una nuova pianta. Alla base della singola identità bulbare troviamo un abbozzo appressato di radici fascicolate che costituiranno l'apparato radicale della futura piantina;

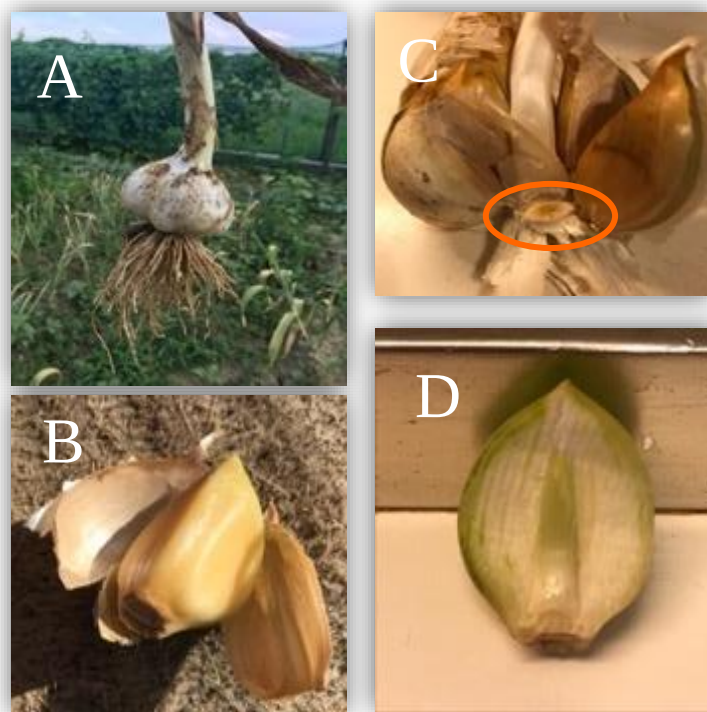


Figura 9: A) bulbo con apparato radicale fascicolato; B) bulbillo con tuniche papiracee di protezione; C) dettaglio del fusto, ridotto ad un singolo disco appiattito; D) bulbillo in sezione, con evidenza degli assi fogliari.

- **apparato fogliare e falso stelo** (Figura 10): l'architettura della “canopy” è variabile nel tempo: in un primo momento, nella fase di costruzione dell'apparato fogliare, le foglie hanno un portamento eretto ma, successivamente, con l'aumentare del peso della lamina fogliare assumono un portamento

tendenzialmente orizzontale. La prima foglia basale, quella più esterna, avvolge per circa 10 cm la seconda che a sua volta avvolge la foglia più interna per una ventina di centimetri; ne deriva che proseguendo in alto le foglie più interne sono avvolte per una lunghezza progressivamente crescente dalle guaine fogliari di quelle più esterne. A partire dalla settima foglia si forma perciò un "falso stelo" cilindrico, consistente e alto 25-30 cm. (Tremori e Santiccioli 2016). Le foglie dell'aglione sono generalmente in numero di 12, a disposizione distica ed alterna (Baroni, 1997). La lamina è parallelinervia, acuminata e leggermente carenata ventralmente, denticolata ai margini per accumulo silicico (Baroni, 1997); entrambe le pagine fogliari sono ricche di stomi e ricoperte di pruina, di colore verde, che assumono delle tonalità differenti durante il ciclo colturale; al germogliamento si hanno delle foglioline molto tenere di colore verde chiaro che si mantiene tale fino all'emissione dello scapo florale, successivamente si ha un viraggio al verde-grigiastro con clorosi delle lamine basali. Con il progredire dell'età fogliare e con l'avvicinarsi della maturità del bulbo, si ha un disseccamento delle lamine fogliari che inizia da quelle più in basso sul falso stelo per poi progredire fino a quelle più apicali senza mai avere filloptosi completa. Per quanto riguarda le guaine fogliari, queste non arrivano mai al disseccamento completo ma mantengono un tenore di umidità elevato anche alla raccolta;



Figura 10: Apparato fogliare e falso stelo

- **infiorescenza** (Figura 11) in molte specie del genere *Allium* al centro del corno si ha un apice meristematico vegetativo che a seguito di stimoli di

vernalizzazione e fotoperiodici (Berghoef e Zevenbergen, 1992; De Hertogh e Zimmer, 1993) vira differenziando strutture riproduttive, portate fuori da uno scapo florale dapprima ricurvo e protetto dal falso stelo e poi eretto a piena fioritura (Terzaroli, 2015). Lo scapo florale ha un diametro di circa 2 cm ed è pieno di midollo dal sapore agliaceo molto delicato, all'apice è presente una spata deiscente che protegge l'infiorescenza ad ombrella. A completo sviluppo, lo scapo florale è alto fino a 1 m e si erge per permettere la fioritura e la successiva fecondazione. La spata a protezione dell'ombrella deisce longitudinalmente da un lato per consentire la fioritura. Essa si apre senza mai staccarsi dallo scapo e dissecca a formare una lamina membranacea, pendula, al di sotto dell'infiorescenza. L'aglione, appartenendo alla famiglia delle *Amaryllidaceae*, ha formula florale $*P_{3+3} \circ 3 + 3G_{(3)}$ (Figura 12). Il perigonio infero è formato da 6 segmenti in due serie: 2 verticilli formati da 3 tepali ciascuno, a forma di lancia e acuminati all'apice (lanceolato-acuminati); nell'insieme, i tepali, vanno a formare un tubo saldato alla base dal cui apice fuoriesce l'androceo ed il gineceo. Il gineceo è formato da un ovario supero triloculare, pluriovulare, sincarpico, filiforme monostilare e terminante con uno stigma semplice, intero. L'androceo presenta 6 stami disposti su 2 verticilli di foglie inseriti sul tubo del perigonio e antere dorsifisse a 2 logge (Baroni, 1997, Pignatti, 1982, Tremori e Santiccioli, 2016). Si riscontra sterilità florale (Guenauoui *et al.*, 2012);

- il frutto è una **capsula** loculicida trivalve, botanicamente un frutto secco deiscente che a maturità si apre liberando 1-2 semi per ogni loggia di colore nero e angolosi con forma triangolare. Gli strati esterni del seme sono collassati e l'embrione presente all'interno è generalmente ricurvo.



Figura 11: Infiorescenza



Figura 12: a sinistra: fiori peduncolati, con perigonio rosa chiaro tendente al magenta; al centro: stame inserito sul tubo del perigonio e antera dorsifissa; a destra: gineceo con ovario supero, sincarpico, triloculare (da Tremori e Santiccioli, 2016).

2.1 – Ciclo biologico della specie

Il ciclo biologico dell'aglione può essere suddiviso nelle seguenti principali fasi fenologiche:

- germogliamento
- emissione e crescita delle foglie (formazione dell'apparato fogliare);
- bulbificazione;
- emissione dello scapo fiorale;
- maturazione del bulbo.

Germogliamento (Figura 13A,B): è generalmente scalare e inizia con temperature del terreno al di sopra dei 5 °C, presentando temperature ottimali di 15 – 20 °C.

Emissione e crescita delle foglie (Figura 13C): si tratta del periodo che intercorre tra il germogliamento e l'emissione dello scapo fiorale: un arco temporale di circa 140 – 150 giorni, durante il quale si ha la formazione dell'apparato fogliare, la cui ampiezza e durata è fondamentale per garantire una produzione sufficiente di fotosintati per la formazione e l'ingrossamento del bulbo.

Bulbificazione (Figura 13D): Questa fase, in parte sovrapposta con la formazione dell'apparato fogliare, è indotta dal fotoperiodo (sono necessarie lunghezze del giorno di almeno 11 ore) (Tremori e Santiccioli, 2016) che interagisce con la temperatura (sono necessari almeno 12-13 °C) (Kamenetsky e Rabinowitch, 2002, Kamenetsky *et al.*, 2004a). La risposta fotoperiodica dell'aglione è di tipo qualitativo (obbligatorio) nel senso che per la bulbificazione esiste un fotoperiodo critico, cioè una soglia critica per cui se la lunghezza della notte è maggiore di 13 ore, la concentrazione della forma attiva del fitocromo (*Pfr* Fitocromo *Far - Red*) non scende al di sotto di un determinato valore soglia e la



pianta non bulbifica (Hopkins *et al.*, 2008; Taiz *et al.*, 2013). Stesso meccanismo controlla anche l'induzione e lo sviluppo fiorale.

Emissione dello scapo fiorale (Figura 13E): il meristema apicale al centro del cormo, dopo aver prodotto 12 foglie vere, differenzia e sviluppa lo scapo fiorale (Figura 13E) anch'esso sotto stimoli fotoperiodici (Kamenetsky e Rabinowitch, 2002; Tremori e Santiccioli, 2016; Terzaroli, 2018; Deepu *et al.*, 2011). Il fotoperiodo lungo è fondamentale per l'allungamento iniziale dello scapo (Terzaroli, 2015; Kamenetsky e Rabinowitch, 2002). Questo compare generalmente i primi di maggio, ma soltanto gli ultimi giorni di giugno si ha la fioritura. La tecnica di coltivazione prevede l'eliminazione dello scapo fiorale (starlatura) al fine di non farlo entrare in competizione con il bulbo per la ripartizione dei fotosintati prodotti dalla superficie fotosintetizzante.

Maturazione del bulbo (Figura 14): la maturazione fisiologica si colloca nel mese di agosto inoltrato quando le foglie sono quasi tutte disseccate e la fioritura-allegagione è compiuta. Nel caso della coltivazione, la fase di maturazione che precede la raccolta è estremamente accorciata e si colloca, in base all'andamento climatico, tra la fine giugno e gli inizi di luglio.

Comprendere le specificità del ciclo biologico e le esigenze ambientali e pedologiche è fondamentale per la buona riuscita della coltivazione. Temperatura, luce, pioggia e umidità, in aggiunta alle caratteristiche del terreno in termini di granulometria, reazione, sostanza organica e salinità sono tutte peculiarità importanti da analizzare e studiare a fondo.

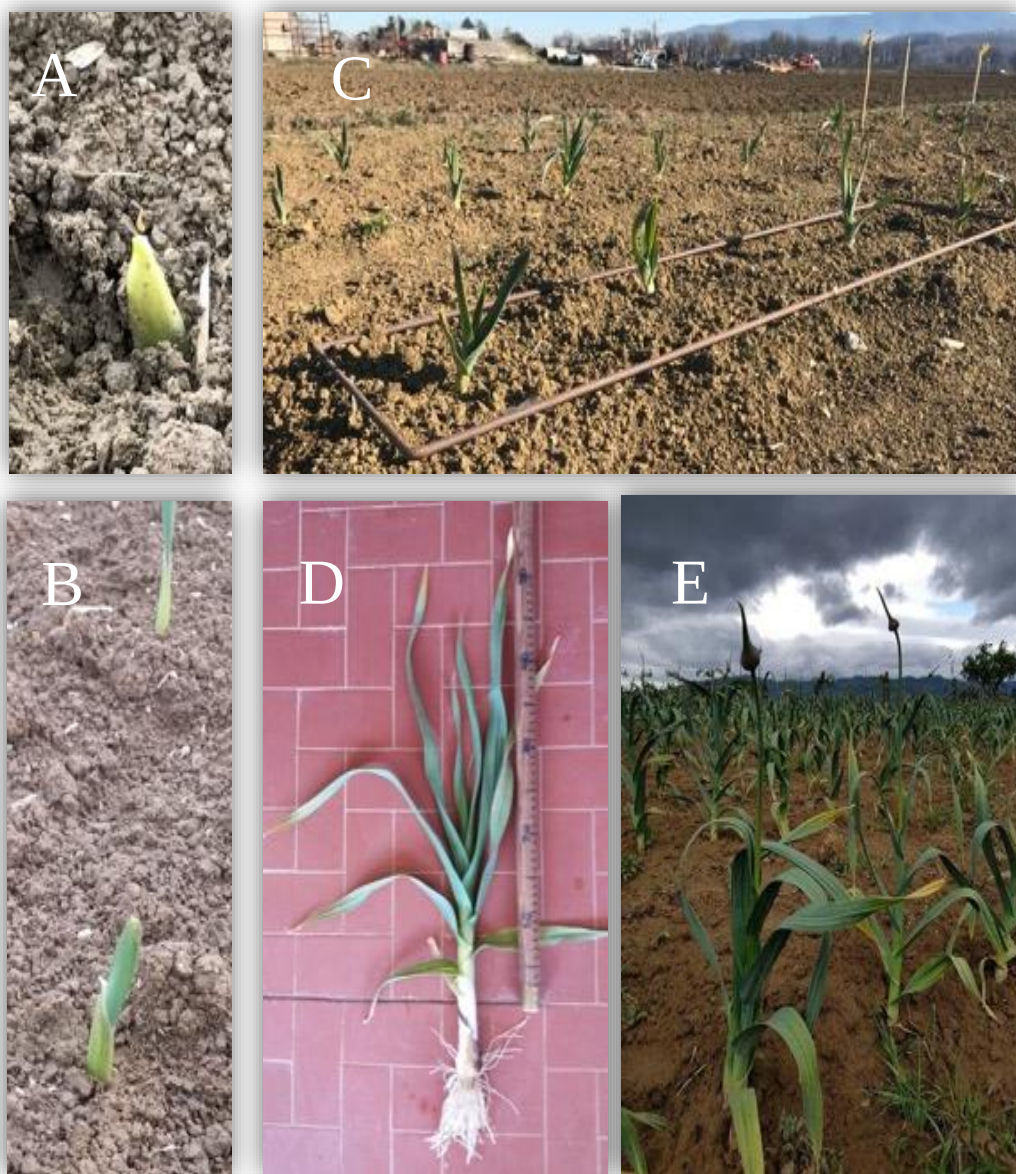


Figura 13: Ciclo Biologico della specie: A) germogliamento, B) emergenza, C) crescita vegetativa, D) ingrossamento del bulbo, E) emissione dello scapo florale

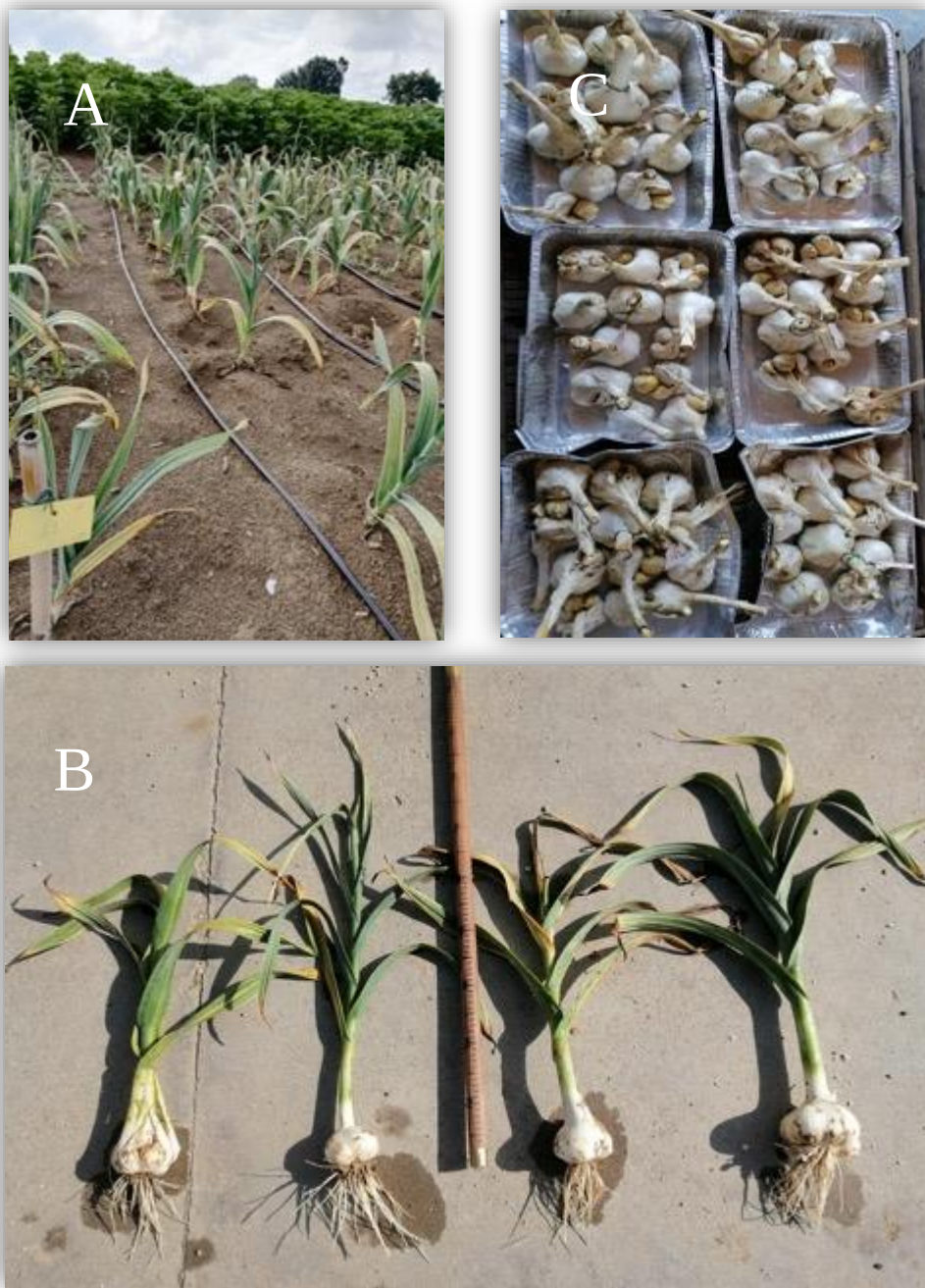


Figura 14: A) Coltura in procinto di essere raccolta; B) condizione dei bulbi alla maturazione commerciale; C) bulbi post toelettatura.

2.2 – Esigenze ambientali e pedologiche

Temperatura: trattandosi di una coltura autunno – invernale, tipica degli ambienti mediterranei, ha una buona resistenza al freddo a livello dello stadio fenologico delle 2/3 foglie vere, con una temperatura critica minima di -15° C.

Luce: la maggior parte dell'apparato fogliare si forma in primavera quando le temperature aumentano e quando anche il regime radiativo garantisce adeguata fotosintesi e crescita. Nei mesi invernali in cui si ha il giorno corto, l'aglione sviluppa vegetativamente e soltanto in primavera, con fotoperiodo lungo (>11 ore) e temperature comprese tra 15 e 25 °C si ha la bulbificazione e l'emissione dello scapo florale.

Esigenze idriche: come per tutte le colture, le piogge autunnali e primaverili, risultano molto importanti per garantire adeguato rifornimento idrico e possibilmente evitare l'irrigazione. Per l'aglione, ma per le bulbose in generale, risultano molto dannose le piogge in concomitanza con la raccolta perché i bulbilli, arricchendosi d'acqua, aumentano di volume e l'elevata pressione di turgore che si viene a creare lacera le tuniche bianche esterne con deprezzamento del prodotto (fisiopatia delle tuniche lacerate). L'elevata umidità atmosferica aumenta il rischio di malattia e soprattutto espone ad attacchi fungini mentre l'elevata umidità del terreno espone ad attacchi di muffe e possibile marcescenza del bulbo.

Terreno: in linea generale possiamo dire che l'aglione si adatta molto bene a diversi tipi di terreno a condizione che non siano umidi e compatti. L'umidità provoca l'insorgenza di marciumi nel bulbo, la compattezza non permette l'ingrossamento dello stesso e quindi comporta una perdita produttiva. Predilige, pertanto, suoli freschi, con tessitura moderatamente grossolana, ben drenati (teme il ristagno idrico), permeabili cioè in grado di garantire un rapido sgrondo delle acque piovane, non asfittici e pH sub-acido tendente alla neutralità. Sono da evitare terreni acidi che provocano carenza di calcio (Pardossi *et al.*, 2018). Per quanto riguarda la salinità, non ci sono dati scientifici precisi sull'aglione, ma qui si ricorda che l'aglio comune è mediamente tollerante alla salinità: con conducibilità elettrica dell'estratto di saturazione del terreno (ECe) fino a 1,7 mS cm⁻¹ non si hanno perdite di produzione; si stimano perdite del 10% con 2,7 mS cm⁻¹, del 25% con 4,2 mS cm⁻¹, del 50% con 6,7 mS cm⁻¹ e azzeramento della produzione con 11,7 mS cm⁻¹ (Tei, 2001).

3 – COLTIVAZIONE

3.1 – Avvicendamento e lavorazione del terreno

L'aglione è una coltura da rinnovo che apre la rotazione; in Valdichiana è inserito in avvicendamento con il frumento e/o con colture primaverili-estive come mais e girasole. Negli appezzamenti più piccoli, si ritrova in consociazione con la fava (*Vicia faba* L. *major* Harz) (Figura 15) con cui si riesce a soddisfare, in parte, le esigenze nutrizionali in termini di azoto. In virtù del proprio ciclo colturale autunno – primaverile, è indicato per interrompere la monosuccessione di frumento e orzo, tipica dei nostri ambienti.



Figura 15: Aglione consociato con *Vicia faba* L. var *major* Harz

Le lavorazioni del terreno sono fondamentali per la buona riuscita della coltura; in particolare, la tradizione locale, prevede un'aratura non troppo profonda, seguita da un affinamento del terreno attraverso l'utilizzo di erpici rotanti. Non è necessario effettuare delle lavorazioni profonde, considerando la superficialità degli apparati radicali. È importante invece un affinamento del terreno molto attento ed oculato, seguito da un livellamento che elimina eventuali avvallamenti, sede dei ristagni idrici tanto temuti dalla coltura.

3.2 – Piantazione o "semina"

La messa a dimora del materiale di propagazione vegetativo, nel gergo agricolo chiamata impropriamente "semina" (Figura 16) è effettuata dagli agricoltori previa calibrazione più o meno rigorosa dei bulbilli, selezionando quelli di calibro maggiore. Il periodo ottimale per la messa a dimora è l'autunno, definito nell'arco temporale che va dalla metà del mese di ottobre, alla fine di novembre, in concomitanza della semina dei cereali a paglia tipici del periodo.

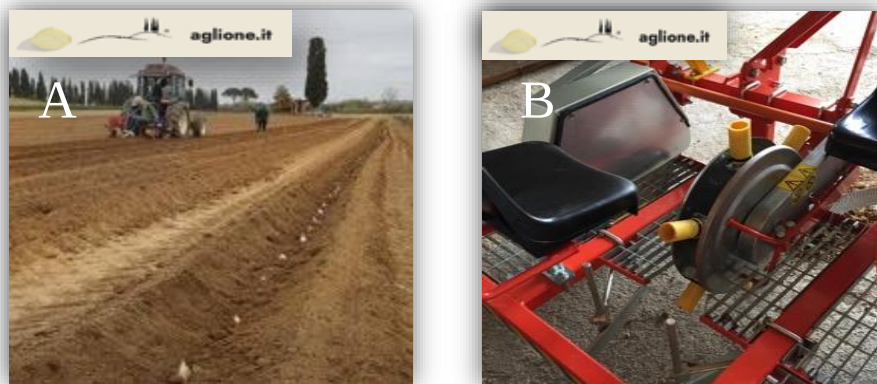


Figura 16: Semina semi – meccanica (A), Seminatrice meccanica (B).

Non sempre è possibile effettuare l'impianto della coltura in questo arco temporale, caratterizzato molto spesso da precipitazioni abbondanti e difficile praticabilità dei campi. Per queste ragioni è importante andare ad effettuare una preparazione anticipata del letto di semina nel periodo più consono per le lavorazioni e sfruttare le finestre temporali per la semina; quest'ultima può essere protratta fino al mese di gennaio ma, se troppo ritardata, le condizioni ambientali di luce e quindi di fotoperiodo non consentono la bulbificazione della pianta che tende a formare un bulbo unico, non suddiviso in spicchi, chiamato "aglio maschio o cipolla" in Valdichiana. I bulbilli atti alla semina vengono prelevati qualche settimana prima della piantagione e rimossi dal bulbo madre cioè dal cormo parentale che li tiene uniti. Prima della messa a dimora, è opportuno effettuare dei trattamenti concianti che permettono l'eliminazione dei patogeni fungini tipici della specie.

Nei piccoli appezzamenti, in superfici ridotte, la piantagione viene effettuata manualmente attraverso la realizzazione di una piccola buca (postarella) oppure attraverso l'apertura di solchi nel terreno e la successiva messa a dimora. Nel caso di superfici grandi la tecnica maggiormente utilizzata è quella semi-meccanica e meccanica. La prima (Figura 16A) consiste nell'apertura di solchi attraverso un assolcatore e poi messi a dimora manualmente, la seconda invece prevede l'utilizzo di prototipi realizzati a livello aziendale, calibrati e studiati in base alle intuizioni degli agricoltori (Figura 16B). Si tratta in realtà di macchinari da sempre utilizzati per il trapianto di piantine con pane di terra, come le insalate e il tabacco,



macchinari adattati alla semina dell'aglione e di nuova costruzione secondo l'esperienza degli agricoltori. Nonostante le diverse modalità di piantagione è sempre necessario posizionare il bulbilli con l'apice, la parte opposta rispetto al girello, rivolto verso l'alto in maniera tale da favorire il germogliamento ed evitare che si abbiano malformazioni sul prodotto finale (Tei, 2001; Tremori e Santiccioli, 2016; Terzaroli, 2015).

3.3 – Densità e sesto d'impianto

La fittezza tradizionale di impianto dell'aglione in Valdichiana è di 5–6 piante m^{-2} con un sesto d'impianto di 60 cm tra le file e 30 cm sulla fila. Ovviamente, il sesto subisce localmente degli adattamenti in relazione sia alla modalità di impianto (meccanico, manuale), sia in base alla tipologia di dotazione aziendale per soddisfare le cure colturali della sarchiatura nel periodo primaverile del ciclo colturale. Le distanze vengono quindi calibrate in base alla dimensione dei macchinari aziendali e in base alle esigenze degli agricoltori. Consideriamo una fittezza di 5,5 piante m^{-2} e un peso medio dei bulbilli che si attesta attorno ai 40 g, per l'impianto di un ettaro di terreno sono necessari circa $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ di bulbilli. Si tratta quindi di una quantità di materiale di propagazione molto importante che necessita di un investimento iniziale notevole, basti pensare al prezzo medio del prodotto fresco ai produttori, che oscilla tra i 12 e i 15 €/kg.

Molti agricoltori infatti effettuano delle scelte di lungo periodo iniziando la coltivazione e mettendo a dimora, anno dopo anno, una quantità sempre maggiore di bulbilli ricavati dalla produzione dell'anno precedente, sopperendo in tal senso agli elevati costi iniziali di investimento.

3.4 – Cure colturali

Con l'impianto autunnale il germogliamento e l'emergenza si completano in circa 50-60 giorni. In inverno la coltura arresta la propria crescita con le prime gelate invernali e rimane alla fase fenologica di 4-5 foglie fino agli inizi della primavera; in questo periodo non si hanno grandi esigenze nutrizionali, a causa della scarsa crescita, e la competizione nei confronti delle infestanti è molto limitata.

Le più importanti cure colturali si rendono necessarie nel periodo primaverile: in particolare ricordiamo la sarchiatura (Figura 17; Figura 18; Figura 19) praticata sia per il controllo delle infestanti sia per la diminuzione dell'evaporazione dell'acqua dal suolo, interrompendo la capillarità del terreno nonché la rottura della crosta superficiale, se presente, permettendo una crescita più regolare dei bulbi.

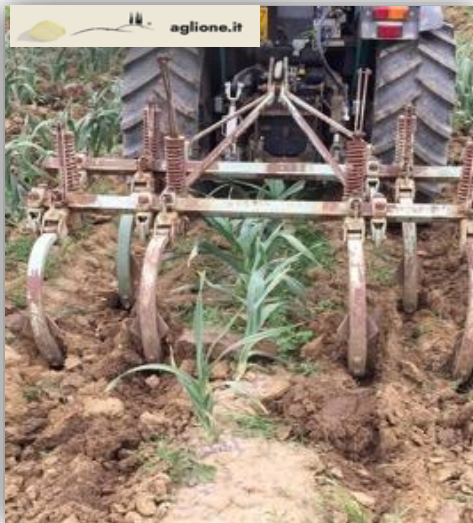


Figura 17: Sarchiatrici per il controllo delle infestanti tra le file, sulla fila e rincalzatura dei bulbi



Figura 18: Appezamento di terreno sarchiato per la gestione meccanica delle infestanti



Figura 19: A) Sarchiatura sulla fila (da az. Agr. Amica Terra); B) Sarchiatura interfila

Riguardo al controllo delle infestanti è importante sottolineare che il lungo ciclo colturale dell'aglio, circa 250 giorni, unito alla sua scarsa capacità competitiva nei confronti delle malerbe, ha come conseguenza un lungo periodo critico, che se abbinato ad una gestione inefficiente delle malerbe può causare delle perdite produttive importanti (Tei e Pannacci, 2005). A causa del proprio ciclo colturale autunno – primaverile, la coltura, subisce la competizione sia delle monocotiledoni sia delle dicotiledoni invernali e primaverili. All'inizio del ciclo colturale il problema maggiore è causato da specie *Graminaceae* annuali appartenenti ai generi *Avena*, *Lolium*, *Phalaris* ma anche varie dicotiledoni dei generi *Lamium*, *Stellaria*, *Papaver*, *Veronica*. A fine inverno-inizio primavera, è la volta della competizione di specie appartenenti alla famiglia delle *Poligonaceae*, *Brassicaceae* e delle *Chenopodiaceae*. In primavera inoltrata compaiono altre dicotiledoni quali *Amaranthus* spp., *Solanum nigrum*, *Euphorbia* spp., *Mercurialis annua* e molte monocotiledoni *Graminaceae* estive come *Setaria* spp., *Echinochloa crus-galli* e *Digitaria sanguinalis*.

La gestione delle infestanti viene effettuata sia attraverso l'utilizzo di mezzi meccanici (Figura 19) di controllo sia attraverso i metodi chimici. Il controllo meccanico prevede l'utilizzo di sarchiatrici interfila (Figura 19B), scerbatura manuale o sarchiatura sulla fila (Figura 19A) e pirodiserbo, cadenzati in base alle emergenze e quindi all'entità quantitativa della banca semi (Tei e Pannacci, 2005).

Il controllo chimico permette di intervenire in diversi momenti del ciclo colturale utilizzando erbicidi selettivi, principi attivi stabiliti per l'aglio comune e comunque compatibili con il disciplinare di produzione delle associazioni di tutela e valorizzazione (Disciplinare di produzione dell'aglio della Valdichiana Rev. 00 del 08/06/2017)

Un'altra operazione che è eseguita durante il ciclo colturale è l'asportazione dello scapo fiorale, comunemente detta “starlatura”. Quest’operazione è eseguita generalmente alla metà di maggio quando lo scapo è alto circa 20 cm sopra l’ultima foglia. L’importanza di quest’operazione risiede nell’evitare che le sostanze nutritive destinate all’ingrossamento del bulbo vengono consumate per la differenziazione degli organi riproduttivi e la fioritura (Tremori e Santiccioli, 2016).

La tecnica più utilizzata prevede l’eliminazione manuale attraverso l’utilizzo delle cesoie al di sotto dell’infiorescenza, in maniera tale che rimanga verde la parte sottostante, lasciando lontana la zona di disseccamento.

3.5 – Fabbisogno idrico e irrigazione

In considerazione del fatto che la prima parte del ciclo colturale si svolge durante il periodo autunno invernale, i fabbisogni idrici della coltura, peraltro limitati, sono generalmente soddisfatti dalle precipitazioni, senza la necessità di intervenire con le irrigazioni.

Nel periodo tardo primaverile, a ridosso della stagione estiva, vi è invece la necessità di interventi irrigui (Figura 20; Figura 21), cadenzati e calcolati in base ad un razionale bilancio idrico ed irriguo.

Vista la scarsità di informazioni specifiche per l'aglio i fabbisogni idrici e irrigui possono essere stimati aggiustando opportunamente i coefficienti colturali di aglio e porro per l'utilizzo del metodo FAO Penman-Monteith indicati nel quaderno 56 della FAO (Allen *et al.*, 1998) (Tabella 1).

Generalmente per la gestione irrigua si considerano un limite critico di intervento pari al 30% dell'acqua disponibile (quantità di acqua trattenuta dal terreno tra la capacità di campo e il punto di appassimento) e una profondità radicale di 30 cm. Nelle coltivazioni ordinarie, i volumi stagionali di adacquamento in Valdichiana oscillano da 1200 a 1500 m³ ha⁻¹ (Tremori e Santiccioli, 2016).

Tabella 1 - Durata delle fasi fenologiche dell'aglio e coefficienti colturali Kc (Finocchi, 2018).

Fase fenologica	Durata (giorni)	Kc
Piantamento-germogliamento	40	0,7
Germogliamento-inizio bulbificazione	120	0,7-1
Bulbificazione	80	1
Maturazione	30	1-0,7



Figura 20: Irrigazione localizzata a manichetta forata



Figura 21: Contaltri e pressostato per il monitoraggio dei parametri di irrigazione

3.6 – Esigenze nutritive e concimazione

Le esigenze nutritive dell'aglio non sono state finora oggetto di specifiche ricerche per cui i fabbisogni indicativi di elementi nutritivi sono derivati da quelli dell'aglio comune (Tabella 2).

Tabella 2 - Fabbisogni indicativi in elementi nutritivi dell'aglio comune (kg di elemento nutritivo per tonnellata di bulbi) (Tei, 2001).

Elemento	kg t ⁻¹ bulbi
Azoto (N)	10 - 11
Fosforo (P ₂ O ₅)	3 - 4.5
Potassio (K ₂ O)	8 - 10
Calcio (CaO)	2.5 - 3
Zolfo (S)	1 - 5
Magnesio (MgO)	0.1 - 0.5

Per una produzione attesa di 10 t ha⁻¹ di bulbi i fabbisogni della coltura ammontano, perciò, a circa 110 kg ha⁻¹ di N, 45 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ di K₂O.

L'azoto è l'elemento nutritivo che maggiormente influisce sulla produzione dell'aglio. Le informazioni presenti in bibliografia, per l'aglio comune, ci dicono che un eccesso di N ritarda la bulbificazione e nella parte finale del ciclo ritarda la maturazione dei bulbi e ne diminuisce la conservabilità; al contrario, con stati carenziali le foglie si accrescono molto più lentamente, assumono una colorazione verde chiaro e un portamento più eretto, hanno senescenza più rapida e, infine, la bulbificazione viene accelerata.

Le carenze di fosforo e potassio determinano accrescimento stentato, foglie più rapidamente senescenti, ritardo di maturazione, formazione di bulbi con tuniche esterne poco appressate e coprenti, con basso residuo secco e scarsamente conservabili (Tei, 2001).

La domanda di azoto è elevata soprattutto durante la fase vegetativa di formazione ed emissione delle foglie per poi divenire molto moderata durante la bulbificazione; nella fase finale del ciclo l'azoto è addirittura dannoso per il ritardo di maturazione e per la diminuzione della conservabilità di bulbi. I fabbisogni di



fosforo e potassio, invece, sono particolarmente elevati nella fase di ingrossamento del bulbo (Tei, 2001).

La concimazione azotata, in considerazione della mobilità di questo elemento nutritivo nel terreno che lo espone a perdite per lisciviazione con conseguenti problemi di ordine ambientale, dovrebbe essere eseguita cercando di sincronizzare i ritmi di assorbimento della coltura e le applicazioni. La dose prevista di azoto, perciò, dovrebbe essere frazionata in 3 interventi: 1/3 all'impianto, 1/3 allo stadio di 3-4 foglie e 1/3 all'ingrossamento del bulbo. I concimi azotati più frequentemente impiegati sono il solfato d'ammonio all'impianto (per apportare anche zolfo) e nitrato ammonico o urea in copertura.

Le dosi di fosforo e potassio da somministrare devono essere determinate in funzione della dotazione del terreno in fosforo assimilabile e potassio scambiabile.

Considerando però la scarsa mobilità di questi elementi è importante interrare i concimi fosfatici e potassici con la lavorazione principale. Il concime fosfatico generalmente utilizzato nei nostri terreni, che hanno reazione neutro-alcalina, è il perfosfato triplo (titolo 48%) che ha il minor costo dell'unità fertilizzante, mentre quello potassico è il solfato di potassio (titolo 50%) che apporta anche quantitativi di zolfo più che sufficienti ai fabbisogni della coltura. Per accelerare lo sviluppo dell'apparato radicale della coltura, si consiglia l'applicazione di una concimazione starter con fosfato ammonico alla dose di circa 50 kg ha⁻¹ di P₂O₅, opportunamente localizzata.

Nei terreni della Valdichiana che hanno buona dotazione di fosforo e potassio, alle coltivazioni di aglione che seguono una coltura di frumento sono applicati mediamente 100-120 kg ha⁻¹ di N, 50 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ di K₂O, così come consigliato dai disciplinari di produzione.

3.7 – Pacciamatura

Si tratta di una pratica poco utilizzata per l'aglione a pieno campo, a causa della difficoltà di applicazione; negli orti familiari ha una certa importanza soprattutto in termini di pacciamatura organica e altro materiale di recupero.

I film plastici più utilizzati per lo scopo sono in polietilene (PE) con spessori variabili (0,02 – 0,05 mm) e larghezza variabile da 0,6 m a 6 m. esistono inoltre pacciamanti biodegradabili a base di amido di mais (Tei e Pannacci, 2017).

3.8 – Raccolta

In condizioni termo-pluviometriche normali, la raccolta avviene alla fine di giugno - prima decade di luglio. Il momento idoneo alla raccolta è definito empiricamente quando le foglie sono ingiallite e il falso stelo è secco (Figura 22), così come per l'aglio comune che è pronto per essere raccolto quando le foglie sono gialle o secche nel loro terzo superiore e iniziano a piegarsi sul terreno (Tei, 2001). Considerando che non vi è contemporaneità è opportuno procedere alla raccolta

quando il 70% delle piante sono nello stadio descritto (Tremori e Santiccioli, 2016; De La Cruz Medina e García, 2007)



Figura 22: Raccolta ed essiccazione in campo

La raccolta può essere effettuata sia manualmente che meccanicamente; quella manuale viene effettuata in caso di piccole superfici, attraverso l'estirpazione delle piante con l'ausilio di una zappa o di una vanga. La raccolta meccanica viene effettuata con attrezzature quanto mai varie, partendo da particolari assoltatori costruiti dagli agricoltori a tale scopo sino ad arrivare a prototipi adattati agli escavatori, passando per l'utilizzo di macchine agevolatrici indicate come scava – raccogli – bulbi e scava – andanatrici (Figura 23).



Figura 23: Macchina raccogli - andanatrice

3.9 – Operazioni post raccolta

Il più importante aspetto di questa serie di operazioni riguarda l'essiccazione e la pulizia o toelettatura dei bulbi (Figura 24).

L'essiccazione consiste nel lasciare i bulbi in campo per un paio di giorni al fine di poter rimuovere i residui di terreno addossati ad essi. Lo scopo dell'essiccazione all'aria aperta funge da garanzia per impedire o quantomeno limitare lo sviluppo di infezioni funginee da *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp. Questi funghi hanno la capacità di attaccare la parte edule causando marcescenza e formazione di micotossine, agenti delle micotossicosi.

Per la commercializzazione è opportuno toelettare i bulbi rimuovendo parte dell'apparato epigeo e completamente l'apparato radicale. I disciplinari di produzione prevedono la calibrazione del bulbo, la denominazione e l'etichettatura prima dell'immissione al consumo nelle confezioni dalle forme e dimensioni più svariate (Figura 25).



Figura 24: Toelettatura dei bulbi



Figura 25: Aglione di Valdichiana al commercio

4 – AVVERSITÀ E DIFESA

La difesa fitosanitaria riguarda il nodo centrale di tutta la tecnica agronomica; di seguito, per brevità, sono citate le principali malattie e i relativi agenti eziologici; ulteriori e più approfondite informazioni tecnico-scientifiche sono riportate nella mia tesi di laurea triennale (Finocchi, 2018).

4.1 – Fitopatologie causate da virus

- Virus del mosaico giallo nano, fitovirus ad ssRNA (*Onion Yellow Dwarf Virus* OYDV);
- Virus latente comune dell'aglio (*Garlic Common Latent Virus* GDV);
- Virus del nanismo dell'aglio (*Garlic Mite Borne Filamentous Virus* GMbFV).

4.2 – Fitopatologie causate da batteri

- *Pseudomonas fluorescens* (Flugge) Migula: agente del marciume fogliare.

4.3 – Fitopatologie causate da oomiceti

- *Peronospora scheideni* Ung. Destructor Berk.: agente eziologico della peronospora della cipolla.

4.4 – Fitopatologie causate da funghi

Come per la maggior parte delle specie vegetali si tratta delle fitopatie più importanti a cui le piante sono soggette. Gli agenti eziologici sono organismi ubiquitari, eucarioti, che costituiscono il più vasto gruppo di organismi eucarioti sulla terra; sono due le divisioni che interessano specie agenti della malattia in aglione della Valdichiana soprattutto a livello del bulbo (Figura 26):

4.4.1 – Divisione Ascomycota

- *Sclerotium cepivorum* Berk. agente del marciume bianco;
- *Penicillium corymbiferum* Westling sin. *Penicillium hirsutum* Dierckx. agente del marciume verde;
- *Aspergillus niger* Thienghem e *Aspergillus alliaceum* Thom e Church. agenti del marciume polverulento;
- *Botrytis allii* Muunn. agente della botrite dell'aglio;
- *Embellisia allii* Simmons sin. *Helminthosporium allii* Campanile agenti dell'elmintosporiosi dell'aglio.

4.4.2 – Divisione Basidiomycota

- *Puccinia allii* Wint e *Puccinia porrii* Rudolff. agenti della ruggine dell'aglio (Figura 27);

4.5 – Fisiopatie causate da agenti abiotici

- Fisiopatia delle tuniche lacerate;
- Arrossamento fogliare reversibile causato dall'abbassamento delle temperature (Figura 28).

4.6 – Avversità entomologiche

- Tripidi (*Thrips tabaci*);
- Mosca della cipolla (*Delia antiqua* Meig) (Figura 29);
- Cosside (*Dyspessa ulula* Borkh.);
- Tignola del porro (*Acrolepiopsis assetella* Zeller.);
- Elateridi (*Agriotes lineatus* L. *Agriotes Obscurum* L. *Agriotes ustulatus* Schaller *Agriotes litigiosus* Rossi.).

4.7 – Nematodi

Il phylum *Nematoda* comprende i cosiddetti vermi cilindrici; non abbiamo delle specie particolari che attaccano l'aglio (Figura 30), sono vermi ubiquitari che attaccano la base dello stelo e i bulbi, "svuotandoli", predisponendo le ferite ad attacchi fungini e batterici. Sono i terreni argillosi, essendo più umidi, a facilitarne il movimento.



Figura 26: Bulbillo di semina con ferite meccaniche, attaccato dai patogeni tellurici.



Figura 27: Aglione della Valdichiana affetto da ruggine, causata dagli agenti eziologici *Puccinia* spp.



Figura 28: Arrossamento fogliare reversibile a seguito di gelate invernali.



Figura 29: Bulbillo attaccato da *Delia antiqua* e successivamente da patogeni tellurici. Nel riquadro in rosso è indicato lo stadio larvale della specie.



Figura 30: Bulbo attaccato da nematodi e conseguente marcescenza dei tessuti a seguito di ristagno idrico

5 – LA GESTIONE DELL'AZOTO NELLE COLTURE ORTICOLE

5.1 – Problematiche legate alla fertilizzazione azotata

La crescita delle specie orticole e la qualità delle produzioni sono strettamente correlate alla disponibilità di azoto, il cui ruolo a livello fisiologico risulta, come noto, di grande rilievo (Tesi e Lenzi, 2005). Questo elemento, infatti, entra a far parte degli aminoacidi, essenziali e non, rappresentando quindi un componente fondamentale delle sostanze proteiche; inoltre, esso compare in altri importantissimi composti organici come gli acidi nucleici e la clorofilla, nonché in numerose sostanze azotate “secondarie” (Lotti, 1985). Quantitativamente, le asportazioni di azoto seguono quelle del potassio nella maggioranza delle specie (Magnifico, 1987), tuttavia, considerando da una parte la sua importanza in termini di risposte quanti-qualitative delle colture e dall'altra la sua scarsa disponibilità nei terreni, in rapporto anche alla sua facile dilavabilità, questo elemento è considerato con grande attenzione nei programmi di concimazione (Tesi e Lenzi, 2005). Il problema della concimazione azotata riguarda le carenze e gli eccessi di azoto. Nel primo caso, si manifesta una condizione di mancato ottenimento della massima produzione e riduzione della pezzatura oltre che, in alcuni casi, del peggioramento qualitativo delle produzioni. È importante sottolineare che in aglione della Valdichiana, in termini economici, le pezzature maggiori, spuntano dei prezzi superiori nel mercato, a vantaggio dei produttori e del consumatore finale. Nel caso invece degli eccessi azotati, si manifesta una crescita lussureggiante, con formazione di tessuti poveri in sostanza secca, maggiore fabbisogno idrico, minore resistenza al freddo e predisposizione all'attacco da parte di parassiti oltre che un allungamento del ciclo colturale. Oltre a tutto ciò, la presenza di tessuti acquosi, manifesta una minore serbevolezza del prodotto e quindi predispone i bulbi ad una difficile conservazione post – raccolta.

La questione azotata viene considerata, dopo il deficit idrico, il più importante fattore limitante per la produzione della biomassa (Lemaire *et al.*, 2008). Negli areali di coltivazione, la fertilizzazione azotata, consente di raggiungere la resa potenziale delle colture consentita dalle condizioni climatiche reali. Nella maggior parte delle colture orticole, si assiste ad un'efficienza nell'utilizzo degli elementi fertilizzanti più bassa rispetto alle coltivazioni erbacee di pieno campo, spesso legata al breve periodo di crescita e alla superficialità degli apparati radicali (Greenwood *et al.*, 1989; Thompson *et al.*, 2020, Tei *et al.*, 2020). Il valore economico delle produzioni orticole, quasi sempre maggiore rispetto alle coltivazioni erbacee di pieno campo, confida nella fertilizzazione azotata che però frequentemente è applicata in eccesso rispetto alla domanda effettiva della coltura con effetti collaterali importanti sia dal punto di vista della salute umana (accumulo di nitrati nelle parti eduli), sia dal punto di vista ambientale (lisciviazione dei nitrati nei corpi idrici) (Thompson *et al.*, 2007; Agostini *et al.*, 2010; Thorup-Kristensen *et al.*, 2012; Cameira e Mota, 2017; Thompson *et al.*, 2020; Tei *et al.*, 2020).

La perdita di nitrati per lisciviazione, viene accentuata da alcune caratteristiche intrinseche alle produzioni orticole: alta intensità colturale, presenza



di apparati radicali poco profondi, brevi periodi di alti tassi di assorbimento dell'azoto nonché ampia spaziatura tra le file (Thompson *et al.*, 2020; Thorup-Kristensen e Kirkegaard, 2016; Tei *et al.*, 2020).

Le pubbliche e scientifiche preoccupazioni circa la questione nitrati, hanno incrementato una pressione politica nei confronti della riduzione della contaminazione dei corpi idrici da parte dell'agricoltura. Nell'Unione Europea, la Direttiva Nitrati del 1991 e la Direttiva Quadro sulle Acque del 2000, richiedono agli agricoltori di adottare migliori pratiche di gestione dell'azoto nelle aree vulnerabili ai nitrati. Data la natura intensiva delle produzioni di ortaggi in Europa, questo settore sta contribuendo molto all'inquinamento da nitrati dei corpi idrici naturali (Tei *et al.*, 2020). Come conseguenza di questo, la ricerca scientifica si è sempre più focalizzata sul miglioramento della gestione azotata nei sistemi di coltivazione degli ortaggi, per cercare di ridurre significativamente gli impatti sull'ambiente e sulla salute (Tei *et al.*, 2017; Padilla *et al.*, 2018; Kristensen e Stavridou, 2017). Oltre a ciò, l'alta concentrazione dei nitrati nel suolo è associata all'emissione del potente gas serra ossido di azoto N₂O (Snyder *et al.*, 2009; Tei *et al.*, 2020). La Direttiva Europea richiede agli Stati Membri di individuare delle zone, che hanno o corrono il rischio di avere una concentrazione di nitrati nelle falde acquifere superiore a 50 mg NO₃⁻ L⁻¹, oppure acque superficiali soggette ad eutrofizzazione. Le aree così individuate vengono dichiarate Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN). In queste aree è richiesta l'implementazione di un Piano di Azione per il miglioramento delle pratiche di gestione della concimazione azotata, per la riduzione della contaminazione da nitrati (Thompson *et al.*, 2020). Per avere un'idea della portata di queste zone, nel 2015, in Europa (EU – 28) furono designate come ZVN, circa il 61% delle aree agricole dell'Unione (Thompson *et al.*, 2020).

In questo contesto, è importante che la gestione della fertilizzazione azotata venga supportata da aspetti scientifici e tecnici di valutazione, che vadano a considerare tutte le possibili fonti di fertilizzazione, in modo da soddisfare i fabbisogni della coltura ma limitare quanto più possibile le problematiche ambientali (Tei *et al.*, 2018, 2020).

5.2 – Il bilancio dell'azoto nel sistema "terreno-coltura-atmosfera" - "Nitrogen balance"

È necessario quindi avere una visione approfondita di tutti i processi che governano il ciclo dell'azoto nel suolo, ottimizzando la fertilizzazione e massimizzarne l'efficienza d'uso, riducendo al minimo le perdite (Congreves e Van Eerd, 2015; Thompson *et al.*, 2017; Tei *et al.*, 2020). Sotto queste condizioni, il "nuovo" paradigma della fertilizzazione azotata dovrebbe essere quello di determinare i fabbisogni della coltura in relazione alla resa produttiva, determinare o stimare la quantità di azoto minerale presente nel terreno alla semina e determinare i ritmi di assorbimento della coltura al variare della biomassa (Lemaire *et al.*, 2008) e quindi del tempo, sfruttando le relazioni eco-fisiologiche frutto della ricerca scientifica. Il punto di partenza della fertilizzazione azotata è sicuramente il bilancio dell'azoto nel *continuum* "suolo-coltura-atmosfera" (Figura 31).

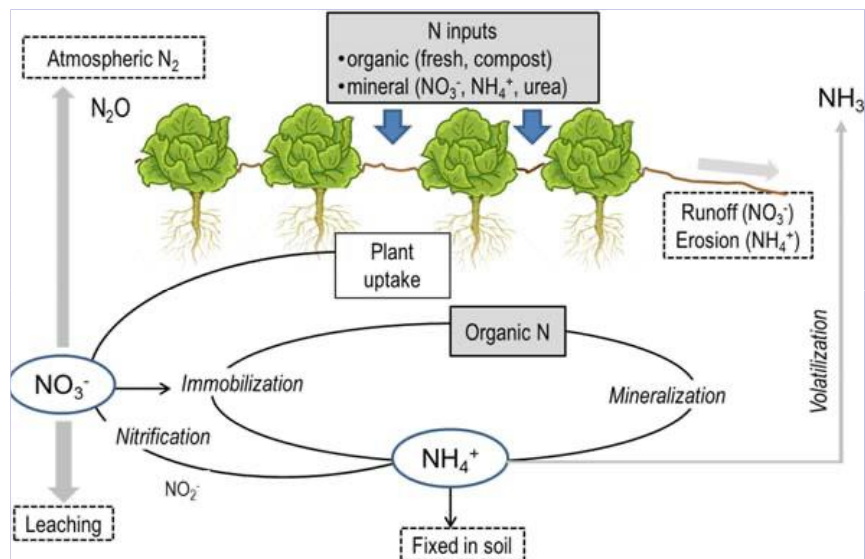


Figura 31: Ciclo dell'azoto nel sistema “terreno-cultura-atmosfera” (da Cameira e Mota, 2017).

Le voci in input del bilancio dell'azoto sono:

- N minerale presente nel suolo al momento della semina;
- N derivante dalla mineralizzazione della sostanza organica del suolo;
- N derivante dalla mineralizzazione dei residui colturali rilasciati con la coltura precedente;
- N da acque di irrigazione;
- N da deposizione atmosferica;
- N derivante dalla fertilizzazione minerale.

Le voci in output sono:

- assorbimento di N da parte della coltura;
- perdite di N per denitrificazione;
- perdite di N per lisciviazione;
- perdite di N per immobilizzazione nel suolo.

La descrizione dettagliata delle diverse voci di bilancio, la loro determinazione e la loro importanza quantitativa, sia in termini assoluti sia relativi, sono oggetto di diversi lavori scientifici (si veda ad esempio: Agostini *et al.*, 2010; Thompson *et al.*, 2017; Tei *et al.*, 2020). Di seguito sono approfonditi alcuni aspetti del bilancio di maggiore pertinenza con l'argomento della tesi di laurea.

5.3 – Assorbimento di azoto da parte della coltura - Crop N uptake

La determinazione dell'assorbimento di azoto da parte della coltura (*crop N uptake*) è cruciale per conoscerne i fabbisogni complessivi e i ritmi di assorbimento dell'elemento nutritivo durante il ciclo colturale (Lemaire *et al.*, 2008) al fine sia di sincronizzare domanda e disponibilità di azoto sia di aumentarne l'efficienza di assorbimento oltre che di ridurre la perdita per lisciviazione.

In condizioni ottimali di nutrizione azotata, l'assorbimento di azoto è il risultato del prodotto della biomassa totale e della concentrazione critica di azoto, definita come la concentrazione minima richiesta per la massima crescita della pianta (Greenwood *et al.*, 1990). La concentrazione critica di azoto (%Nc) diminuisce con l'aumentare del peso secco della pianta (DW, t ha⁻¹), secondo la relazione $\%Nc = a DW^{-b}$, dove a e b sono due coefficienti specie-specifici. La concentrazione critica varia non solo in relazione alla specie ma anche allo stadio fenologico e alla porzione di pianta campionata. Alcuni autori (Greenwood *et al.*, 1990; Lemaire e Gastal, 1997; Lemaire *et al.*, 2008) hanno trovato che tale relazione è simile nelle specie C₃ ($\%Nc = 4.8 DW^{-0.34}$ come relazione media per le specie C₃) e in quelle C₄ ($\%Nc = 3.6 DW^{-0.34}$). Tuttavia, ogni specie ha una sua propria “curva di concentrazione critica” in funzione delle specifiche caratteristiche istologiche, morfologiche ed eco-fisiologiche per cui relazioni specie-specifiche sono state determinate ad esempio in patata (Greenwood *et al.*, 1990, 1996), pomodoro da industria (Tei *et al.*, 2002), lattuga (Tei *et al.*, 2003; Di Gioia *et al.*, 2007; Conversa ed Elia, 2019), cavolo broccolo (Riley e Vågen, 2003; Conversa *et al.*, 2019), carota (Shlevin *et al.*, 2018), ecc... Una dettagliata review sull'argomento è stata recentemente proposta da Chen *et al.*, (2021).

La riduzione percentuale di N, è frutto della diversa concentrazione, nei due compartimenti concettuali della pianta: compartimento metabolico e compartimento strutturale (Caloin e Yu, 1984; Tei *et al.*, 2002). Il primo, fisiologicamente attivo nella crescita della pianta associato all'attività metabolica della fotosintesi, comprende le foglie e la frazione fine delle radici, entrambe con concentrazioni relativamente elevate di azoto; il secondo, quello strutturale, povero in azoto, comprende i tessuti strutturali di mantenimento in posizione del fogliame: fusti e piccioli e tessuti di immagazzinamento. Dalle nozioni di *growth analysis*, è noto, che nel momento in cui la pianta è piccola, l'indice *Leaf area ratio* (LAR), cioè il rapporto tra area fogliare e peso secco totale della pianta, e l'indice *Leaf weight ratio* (LWR), il rapporto tra peso secco totale delle foglie e peso secco totale della pianta, sono molto alti, e tendono a diminuire man mano che la pianta cresce, come conseguenza dell'incremento della proporzione strutturale e dei tessuti di immagazzinamento.

A partire dalla curva di concentrazione critica di azoto, è possibile derivare la curva di assorbimento dell'azoto in condizioni ottimali di nutrizione azotata al crescere della coltura, semplicemente moltiplicando per DW i due termini dell'equazione precedente. Si ottiene così la relazione $N \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 10 a DW^{1-b}$ che ci permette di stimare i fabbisogni di azoto di una coltura (kg N ha⁻¹) in condizioni



ottimali di nutrizione azotata in funzione della sostanza secca accumulata (DW, t ha⁻¹) (Greenwood *et al.*, 1990).

La definizione di un bilancio puntuale del destino dell'azoto nel sistema “terreno-pianta-atmosfera” è sicuramente il metodo più preciso e attendibile per determinare i fabbisogni di concimazione azotata delle colture, ma è anche piuttosto laborioso e di non sempre facile applicazione, pur non essendo esente, come visto, da qualche approssimazione. La ricerca e la sperimentazione hanno, pertanto, messo a punto diversi metodi di stima della dose di concimazione azotata, che possono essere classificati nei seguenti gruppi (Agostini *et al.*, 2010; Thompson *et al.*, 2017; Tei *et al.*, 2018, 2020; Padilla *et al.*, 2018, 2020, Gallardo *et al.*, 2020):

- metodi basati sull'osservazione,
- metodi basati sull'analisi del terreno,
- metodi basati sullo stato nutrizionale della coltura (analisi della pianta),
- metodi basati su modelli e sistemi esperti.

Rimandando a specifici lavori citati per la trattazione dei diversi metodi, di seguito si danno ulteriori informazioni solo sui metodi di stima della concimazione azotata basati sulla stima dello stato nutrizionale della coltura mediante sensori ottici, che sono stati utilizzati nel lavoro sperimentale oggetto della presente tesi di laurea magistrale.

5.4 – Metodi di stima dei fabbisogni di concimazione delle colture mediante sensori ottici

La determinazione della concentrazione di elementi nutritivi nella pianta permette, in comparazione con valori di riferimento, di valutare lo stato nutrizionale delle colture (stato di carenza, ottimale, consumo di lusso) e dare indicazioni sugli interventi di concimazione durante il ciclo colturale nelle diverse fasi fenologiche (Thompson *et al.*, 2017; Tei *et al.*, 2018, 2020). Oltre alle analisi di laboratorio (che normalmente prevedono il prelievo di adeguati campioni di tutta la pianta o di una sua porzione, essiccamento in stufa e successiva analisi), i metodi rapidi da adottare direttamente in campo o in azienda si dividono essenzialmente in due gruppi: distruttivi e non distruttivi.

I *metodi distruttivi* prevedono il prelievo di un campione opportuno (variabile in funzione della specie e della fase fenologica), estrazione della linfa fogliare (*sap test*) secondo una metodica precisa, determinazione della concentrazione dei nitrati (o di altri elementi nutritivi) mediante strumentazioni di uso facile ed economico (*quick test*), come riflettometri (es. Nitrachek 404, KPG Product Ltd, UK) e sensori iono-specifici (Cardy, Spectrum Technologies, Inc., IL, USA) ed infine confronto con valori di riferimento e successiva elaborazione di piani di concimazione.

I *metodi non distruttivi* sono, invece, basati su misurazioni delle diverse proprietà ottiche delle colture correlate allo stato nutrizionale della pianta (carenza, sufficienza o consumo di lusso). I sensori possono essere misuratori di clorofilla, misuratori di flavonoli, sensori di riflettanza ecc.. (Tabella 3).

Tabella 3 – Caratteristiche di alcuni dei più comuni sensori ottici prossimi di potenziale uso per la gestione dell'azoto nelle colture (da Padilla *et al.*, 2020).

Sensor type	Devices ^a	Manufacturer	Measurement area
Chlorophyll meter	SPAD-502	Konica Minolta (Tokyo, Japan)	Leaf
	N-tester	Yara International (Oslo, Norway)	Leaf
	atLEAF+	FT Green LLC (Wilmington, DE, USA)	Leaf
	MC-100 Chlorophyll Concentration Meter	Apogee Instruments Inc. (Logan, UT, USA)	Leaf
	CCM-200 Chlorophyll Content Meter Plus	Opti-Sciences Inc. (Hudson, NH, USA)	Leaf
Reflectance sensor	CropSpec	Topcon Positioning Systems, Inc. (Livermore, CA, USA)	Canopy
	OptRx Crop Sensor	Ag Leader Technology (Ames, IA, USA)	Canopy
	N-sensor ALS	Yara International (Oslo, Norway)	Canopy
	Crop Circle Canopy Sensors	Holland Scientific (Lincoln, NE, USA)	Canopy
	RapidSCAN CS-45	Holland Scientific (Lincoln, NE, USA)	Canopy
	GreenSeeker Sensors	Trimble Inc. (Sunnyvale, CA, USA)	Canopy
Flavonols meter	DUALEX	Force-A (Orsay, France)	Leaf
	MULTIPLEX	Force-A (Orsay, France)	Leaf

Questi sensori possono essere portatili, come nel caso dei misuratori di clorofilla e di flavonoli o di alcuni tipi di sensori di riflettanza, oppure montati su satelliti, aerei o droni, come nel caso di termo-camere e sensori di riflettanza multispettrali o iperspettrali (Padilla *et al.*, 2018, 2020). Uno dei vantaggi di questi sensori è la possibilità di avere le misurazioni in tempi molto brevi. Inoltre offrono grande variabilità dal punto di vista delle misurazioni, visto che la grandezza delle aree da misurare va da quella di piccole foglie, ad esempio per i sensori di clorofilla e di fluorescenza, ad aree relativamente più ampie come quelle dell'intero campo o di una sua porzione, come per i sistemi satellitari e quelli montati su UAV. Questi metodi sono oggi alla base dei metodi di *agricoltura di precisione*.

Le misurazioni del contenuto di clorofilla della foglia come indice di nutrizione azotata sono effettuate con spettrofotometri portatili e si basano sulla correlazione che esiste tra la concentrazione di clorofilla e quella di azoto.

Le misure di fluorescenza fogliare si basano sul fatto che i composti fenolici, in particolare i flavonoli, sono prodotti nelle foglie sotto stress così il loro contenuto è inversamente correlato allo stato nutrizionale azotato della coltura. In particolare con l'uso di questi strumenti è possibile determinare il rapporto tra clorofilla e flavonoli (o polifenoli), conosciuto come *Nitrogen Balance Index (NBI)*, che è stato dimostrato essere sensibile allo stato nutrizionale azotato: quando l'azoto diventa fattore limitante il contenuto di clorofilla diminuisce e quello dei flavonoli (o dei polifenoli) aumenta.

Le misure di riflettanza fogliare vengono effettuate con radiometri *multispettrali* (con 2-10 bande dello spettro elettromagnetico) o *iperspettrali* (che misurano la riflettanza di un ampio intervallo pressoché continuo tra 400 nm e 2500 nm) (Padilla *et al.*, 2020). I diversi sensori possono essere inoltre dotati o meno di una sorgente di luce propria che ne facilita l'utilizzo. Queste misure sono basate sull'interazione di differenti lunghezze d'onda della luce con le caratteristiche ottiche della coltre vegetale che cambiano in funzione della vigoria, dello stato nutrizionale, dello stato idrico, dell'incidenza di attacchi parassitari o di malerbe. Normalmente, i tessuti della pianta assorbono circa il 90% della radiazione visibile (390 – 750 nm) e riflettono circa il 50% del NIR (*Near Infra Red*: 750 – 1300 nm) (Knipling, 1970), generalmente, le colture in carenza di azoto riflettono più visibile e meno NIR rispetto alle colture con una dotazione azotata sufficiente (Schepers *et al.*, 1996; Penuelas, 1994).

L'utilizzo di sensori prossimali di riflettanza (*proximal reflectance sensors*) per il monitoraggio dello stato nutrizionale delle colture è stato oggetto di numerose ricerche (si vedano ad esempio: Scotford e Miller, 2005; Fox e Walthall, 2008; Hatfield *et al.*, 2008; Gianquinto *et al.*, 2011; Padilla *et al.*, 2014, 2015, 2018, 2020; Thompson *et al.* 2017; Samborski *et al.*, 2009; Schmidt *et al.*, 2011). Le misure di riflettanza sono poi utilizzate per il calcolo di diversi indici di vegetazione (*vegetation indices*) per il monitoraggio dello stato nutrizionale delle colture (Tabella 4), anche se NDVI è quello maggiormente utilizzato in agricoltura di precisione

Tabella 4 – I più usati indici di vegetazione per il monitoraggio dello stato nutrizionale azotato delle colture (da Padilla *et al.*, 2020).

Index	Acronym	Equation
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$\frac{NIR - Green}{NIR + Green}$
Red Ratio of Vegetation Index	RVI	$\frac{NIR}{Red}$
Green Ratio of Vegetation Index	GVI	$\frac{NIR}{Green}$
Chlorophyll Index	CI	$\frac{NIR}{Red} - 1$
Chlorophyll Vegetation Index	CVI	$\frac{NIR}{Green} * \frac{Red}{Green}$
Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} * (1 + L)$
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	OSAVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red + 0.16}$
Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	RENDVI	$\frac{NIR - Red_{Edge}}{NIR + Red_{Edge}}$
Canopy Chlorophyll Content Index	CCCI	$\frac{RENDVI - RENDVI_{min}}{RENDVI_{max} - RENDVI_{min}}$

NIR: Near Infrared; L: soil brightness correction factor.



In generale tutte le misure derivanti da monitoraggio della pianta (sia con metodi distruttivi sia non distruttivi) possono essere impiegate secondo due modalità (Thompson *et al.*, 2017):

- 1) determinando sperimentalmente un valore soglia (di sufficienza) direttamente correlato con lo stato nutrizionale della coltura;
- 2) confrontando le misure in maniera relativa rispetto a quelle provenienti da una pianta o da una parte dell'appezzamento in cui le condizioni nutrizionali sono sicuramente ottimali (*reference plant o reference plot*).

Nel primo caso l'uso di valori assoluti può essere basato su: i) funzioni di risposta delle produzioni; ii) direttamente correlato a misure dello stato nutrizionale della coltura rispetto a valori ottimali di concentrazione d'azoto pre-determinati (*NNI, Nitrogen Nutrition Index*); iii) direttamente correlati al contenuto di azoto della foglia e della coltura.

Nel secondo caso sono generalmente elaborati indici relativi di sufficienza (*Sufficiency Index, SI*) calcolati come rapporto tra la misura della superficie esaminata e quella di riferimento in condizioni ottimali. I SI di colture vicino a condizioni ottimali saranno perciò intorno a 1, mentre colture in stato carenziale avranno SI molto inferiore a 1: valori di 0,90-0,96 sono considerati generalmente indicativi di adeguata nutrizione azotata.

Nonostante i diversi metodi di stima della concimazione azotata permettano di soddisfare l'elevata "domanda" di azoto da parte delle colture orticole (Feller e Fink, 2002; Congreves e Van Eerd, 2015), va rimarcato che la loro efficienza di assorbimento dell'elemento fertilizzante risulta essere inferiore all'unità; in altre parole, non tutto l'azoto applicato con la concimazione viene assorbito dalla coltura (Tei *et al.*, 1999, 2020).

In particolare, l'efficienza degli assorbimenti dipende sia dalla specie sia dalle condizioni esterne alla pianta; nel primo caso le differenze che si riscontrano sono legate all'architettura degli apparati radicali e, nel secondo caso, dalle condizioni del suolo, dalle condizioni ambientali nel suo complesso, dalle pratiche agronomiche e dal metodo di fertilizzazione utilizzato (Tei *et al.*, 1999, 2020; Tremblay *et al.*, 2001; Benincasa *et al.*, 2011).

5.5 – Efficienza della concimazione azotata

Il problema dell'efficienza delle colture nell'assorbimento dell'azoto, è particolarmente sentita per le colture orticole, soprattutto a causa del limitato accrescimento degli apparati radicali e dell'elevato valore aggiunto della coltivazione che spinge gli agricoltori ad una fertilizzazione azotata eccedentaria, vista come garanzia della produzione. È noto che l'assorbimento di N da parte delle colture, aumenti in modo pressoché lineare all'aumentare della quantità di azoto nella soluzione circolante nel terreno, fino a raggiungere un assorbimento massimo



che poi rimane costante con ulteriori aumenti di concentrazione azotata (Greenwood *et al.*, 1989). Questo aspetto legato all'efficienza degli assorbimenti da parte delle piante, è stato studiato da Greenwood *et al.* (1989) che hanno proposto e quantificato il *prelievo apparente relativo* (*apparent recovery*, REC) di azoto applicato con la concimazione da parte della coltura:

$$REC = (U_F - U_0)/N_F$$

dove N_F è la dose di azoto applicata con la concimazione (in kg ha^{-1}), U_F è l'azoto assorbito dalla coltura (in kg ha^{-1}) alla dose N_F e U_0 l'azoto assorbito dalla coltura in mancanza di concimazione (stima della quantità di azoto presente nel terreno e assorbito dalla coltura). Nelle specie orticole il REC decresce linearmente all'aumentare della dose di N secondo la seguente relazione:

$$REC = REC_0 - b N_F$$

dove REC_0 è il valore di REC con una quantità infinitesima di fertilizzante azotato ed il coefficiente $-b$ è la riduzione di REC per l'incremento unitario di N_F (Tei *et al.*, 2020; Greenwood *et al.*, 1989).

Il prelievo apparente relativo dà quindi indicazioni sulla proporzione di azoto apportato con la concimazione che non è assorbito dalla coltura e quindi a rischio di lisciviazione e permette di calcolare con maggior precisione la dose di concime per soddisfare i fabbisogni nutrizionali (da notare la similitudine con l'efficienza di irrigazione). Come nel caso delle curve di diluizione (Greenwood *et al.*, 1990), la relazione è specie specifica, in dipendenza di differenze legate all'architettura degli apparati radicali, ma il REC può essere aumentato modificando adeguatamente densità e sesti d'impianto, tempi e modalità di concimazione (Tei *et al.*, 1999; Tremblay *et al.*, 2001; Benincasa *et al.*, 2011).

Alcuni autori (Tremblay *et al.*, 2003) hanno introdotto il concetto di *margin di sicurezza* (*safety margin*) cioè la quantità addizionale di azoto che deve essere presente nel terreno al fine di salvaguardare la coltura da carenze di N che si potrebbero avere se fosse presente nel terreno solo la quantità di N richiesta per soddisfare il fabbisogno colturale.

Le colture che hanno apparato radicale superficiale con pochi peli radicali (es. cipolla e porro) sono inefficienti nell'estrarre N così il margine di sicurezza deve essere relativamente grande; al contrario, colture con profondo e ampio apparato radicale e ciclo lungo richiedono soltanto piccoli margini di sicurezza (Agostini *et al.*, 2010; Tei *et al.*, 2018, 2020). Per fare alcuni esempi relativi alle colture citate, in porro e cipolla, i valori del margine di sicurezza si attestano intorno a 60 – 90 kg ha^{-1} di N mentre in cavolo di Bruxelles, cavolo tardivo e carota, sono inferiori a 30 kg ha^{-1} di N (Tremblay *et al.*, 2003).

PARTE SPERIMENTALE

6 – SCOPO DELLA TESI

Essendo l'aglio una coltura di bassa importanza economica a livello nazionale, mancano del tutto dati scientifici indispensabili per l'adozione di una tecnica agronomica puntuale, efficace e sostenibile.

Lo scopo principale della tesi è quello di fornire informazioni utili alla comprensione delle dinamiche di crescita e di assorbimento dell'azoto, soprattutto per la mancanza di dati relativi ai seguenti aspetti colturali:

- *indici di crescita*: si tratta di una serie di informazioni di dettaglio legate alle dinamiche evolutive della pianta nel suo complesso e dei diversi organi di cui si compone, con determinazioni a riguardo dell'accumulo di biomassa nel tempo, della superficie assimilatoria e di immagazzinamento delle sostanze di riserva;
- *effetto della concimazione azotata su crescita e produzione*: a seguito della definizione degli indici di crescita è opportuno comprendere le risposte della specie sottoposta a dosi crescenti di fertilizzante azotato, valutando l'esistenza o meno di significative differenze a livello morfometrico e produttivo, definendo sia le quantità necessarie al soddisfacimento dei fabbisogni colturali, sia i ritmi di assorbimento dell'elemento della nutrizione vegetale;
- *efficienza di assorbimento dell'azoto*: come è noto, non tutto l'azoto somministrato con le concimazioni viene assorbito dalla coltura, soprattutto per ragioni di natura morfologica degli apparati radicali. Per questa ragione è quindi indispensabile avere delle indicazioni precise sulla quantità dell'elemento della nutrizione che rimane in soluzione ed è quindi soggetto a fenomeni di perdita per lisciviazione;
- *utilizzo di indici di riflettanza*: l'utilizzo di metodi basati su misurazioni di alcune proprietà ottiche delle colture correlate allo stato nutrizionale della pianta è importante durante il ciclo colturale per riuscire a calibrare ed aggiustare la dose di concimazione, garantendo sempre il giusto livello nutrizionale;

Come ampiamente descritto nei precedenti paragrafi, la concimazione azotata è il problema cruciale di tutte le produzioni orticole per scongiurare carenze ed eccessi, con conseguenze economiche e ambientali legate sia alla perdita produttiva sia alla lisciviazione dei nitrati. Attraverso la definizione di questi aspetti biologici legati alla crescita e alle dinamiche dell'azoto è possibile la messa a punto sia di un piano di concimazione basato su dati oggettivi sia di un sistema di fertirrigazione localizzata a goccia che permetta di sopperire ai fabbisogni idrici e nutrizionali della coltura e che permetta l'intervento in base ai ritmi di assorbimento.

7 – MATERIALI E METODI

7.1 – Disegno sperimentale e impianto della sperimentazione

Il lavoro sperimentale di pieno campo è stato effettuato nell'annata agraria 2019-2020 presso la Stazione Sperimentale dell'Unità di Ricerca di Agronomia e Coltivazioni Erbacee del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università degli studi di Perugia, sito in località Papiano nella media valle del Tevere (Perugia, 43° N, 165 m s.l.m.).

Il terreno sede della sperimentazione, con precessione frumento tenero, era argilloso-medio impasto (*Fluventic Haplustept*), con il 34% di argilla, 46% di limo, 20% di sabbia, con un contenuto di sostanza organica pari al 1,2% (TOC = 9,3 g kg⁻¹ e contenuto di N totale = 0,82 g kg⁻¹), pH = 7,8, alto contenuto di P assimilabile (29,9 mg kg⁻¹, metodo *Olsen*) e K scambiabile (258 mg kg⁻¹).

Alla lavorazione principale del terreno (aratura a 0,30 cm di profondità) l'appezzamento è stato concimato con 75 kg ha⁻¹ di P₂O₅ (perfosfato triplo) e 100 kg ha⁻¹ di K₂O (solfato di potassio).

Adottando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con 4 ripetizioni, con parcelle di 15,75 m² (3,5 m x 4,5 m), sono state messe a confronto 5 dosi crescenti di concimazione azotata: 0, 50, 100, 200 e 250 kg N ha⁻¹ impiegando nitrato ammonico (NH₄NO₃, titolo in azoto pari al 26-27%).

Il materiale vegetale impiegato per la coltivazione (bulbilli) (Figura 32) è stato gentilmente concesso dall'*Associazione Aglione di Valdichiana – Aglione.it*; i bulbilli sono stati messi a dimora manualmente il 29.10.2019, a circa 6 - 8 cm di profondità, adottando un sesto d'impianto con distanze di 0,7 m tra le file e 0,3 m sulla fila, corrispondente ad una densità di 4,76 piante m⁻²; ogni parcella era perciò costituita da 5 file della coltura, con 15 piante per fila.

La quantità totale di fertilizzante di ogni parcella è stata distribuita in 3 frazioni: 1/3 subito dopo l'impianto (29.10.2019), 1/3 allo stadio di 3 - 4 foglie (12.3.2020) e 1/3 all'ingrossamento del bulbo (20.4.2020); la prima somministrazione è stata eseguita a tutto campo (Figura 33) mentre le successive 2 distribuzioni, in maniera localizzata lungo la fila. Le concimazioni in copertura sono state eseguite evitando che i granuli di concime azotato cadessero all'interno dell'imbuto formato dalle foglie (Figura 34) così da non causare ustioni e fitotossicità alle plantule.

La coltura è stata irrigata a pieno soddisfacimento dei fabbisogni idrici con un sistema di irrigazione localizzata a manichetta forata (Figura 35); il volume stagionale di adacquamento è risultato pari a 1500 m³ ha⁻¹.

Le parcelle sono state mantenute sempre libere da malerbe con periodici interventi manuali e meccanici.

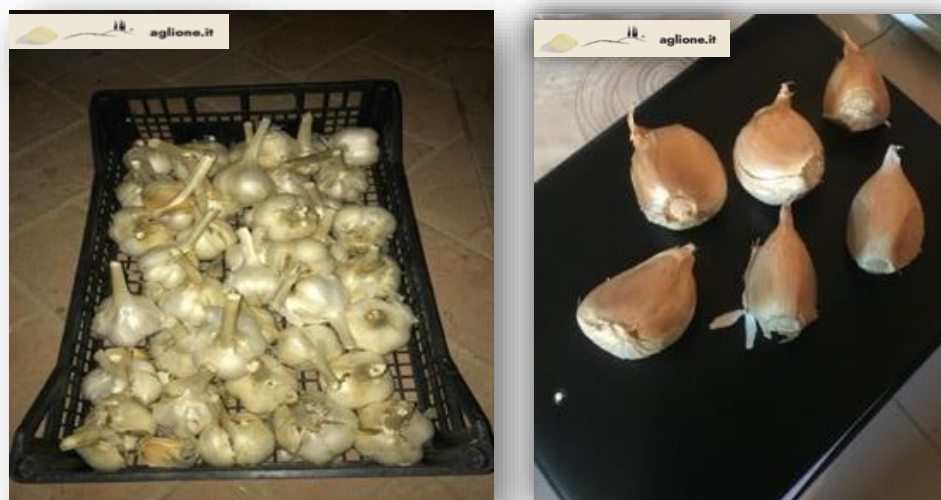


Figura 32: Materiale genetico di partenza



Figura 33: Concimazione a tutto campo delle parcelle sperimentali all'emergenza della coltura.



Figura 34: Imbuto fogliare allo stadio di 2-3 foglie



Figura 35: Vista d'insieme della prova sperimentale irrigata con sistema localizzato a manichetta forata.

7.2 – *Campionamenti e misure*

Il 29.11.2019 (31 Giorni Dopo l'Impianto, GDI), 6.12.2019 (38 GDI), 13.12.2019 (45 GDI), 19.12.2019 (51 GDI), 27.12.2019 (59 GDI) e il 03.01.2020 (66 GDI) sono state contate le piante emerse in ogni fila al fine di determinare nel tempo la % di emergenza della coltura in ogni parcella (Figura 36).

Il 7.4.2020 (161 giorni dopo l'impianto, GDI), il 5.5.2020 (189 GDI), il 28.5.2020 (212 GDI) e il 18.6.2020 (233 GDI) sono state prelevate dalle tre file centrali, 3 piante in ogni parcella (Figura 37) per le determinazioni morfologiche necessarie all'analisi di crescita e di assorbimento dell'azoto.



Figura 36: Piante di aglione poco dopo l'emergenza



Figura 37: Campionamento parcellare delle piante di aglione per l'analisi di crescita.

Su ogni campione sono stati determinati:

- altezza della coltura (Figura 38);
- peso fresco e secco (essiccato in stufa a 80 °C per 72 ore) del bulbo, del falso stelo, delle lamine fogliari e dello scapo fiorale (Figura 39);
- superficie fogliare (Leaf Area Index, LAI) (Figura 40);
- diametro del bulbo (Figura 41A);
- diametro del falso stelo (Figura 41B).



Figura 38: Misurazione altezza della coltura



Figura 39 - Esempio di suddivisione dei campioni periodici di aglione per l'analisi di cescita



Figura 40: Misurazione della superficie fogliare tramite analisi delle immagini



Figura 41: A) Misura del diametro dei bulbi; B) Misura del falso stelo

Tutti i campioni essiccati sono stati finemente polverizzati e analizzati in laboratorio per la determinazione del contenuto totale di azoto mediante il metodo *Kjeldhal*.

La produzione di bulbi è stata determinata alla raccolta finale, eseguita il 25.6.2020 (240 GDI), su 12 piante per parcella. La produzione commerciale è stata determinata pesando il bulbo con 15 cm di falso stelo (Figura 42); su tutti i bulbi

raccolti è stato misurato il diametro. La parte non commerciale (foglie), considerata residuo colturale, è stata pesta, essiccata e analizzata per il contenuto di azoto totale.

Dopo la raccolta, i bulbi sono stati conservati (Figura 43) in un luogo fresco e asciutto, in maniera da controllarne periodicamente la diminuzione del peso, a seguito dell'essiccamento naturale degli stessi.



Figura 42: Bulbi commerciali alla raccolta finale



Figura 43: Bulbi in fase di conservazione post-raccolta

In concomitanza con i prelievi eseguiti il 7.4.2020 (161 giorni dopo l'impianto, GDI), il 5.5.2020 (189 GDI) e il 28.5.2020 (212 GDI), in ogni parcella è stata misurata anche l'intercettazione % della PAR (*Photosynthetically Active Radiation*, 400-700 nm) mediante l'uso di un sensore lineare PAR di 1 metro lineare (Guiducci e Cortona, 1987): il sensore è stato posto diagonalmente a cavallo della fila campionando sempre la stessa porzione di coltura in tutti e tre le sedute di misurazione (Figura 44). Le misure sono state effettuate sempre con alta elevazione

solare, tra le ore 12:30 e le 14:30, eseguendo prima una misurazione sopra la *canopy* che fungeva da riferimento e poi sotto la *canopy* a livello del terreno; l'intercettazione % è stata calcolata rapportando le due misurazioni.



Figura 44: Misura della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR 400-700nm) con sensore lineare

L'8.5.2020 e il 28.5.2020 sono state effettuate anche misure di riflettanza con radiometro multispettrale CropScan (Cropscan Inc., Fargo, ND, USA) che hanno portato alla determinazione dell'indice NDVI in ogni parcella.

7.3 – Analisi dei dati

I dati dei singoli prelievi sono stati impiegati per il calcolo dei seguenti principali indici di crescita in accordo con Hunt (1990):

$CGR = Crop\ Growth\ Rate = (W_2 - W_1) / (t_1 - t_2)$	$[g\ m^{-2}\ d^{-1}]$
$RGR = Relative\ Growth\ Rate = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_1 - t_2)$	$[g\ g^{-1}\ d^{-1}]$
$LAI = Leaf\ Area\ Index = (m^2_{foglie} m^{-2}_{terreno})$	$[m^2\ foglie\ m^{-2}\ terreno]$
$LAR = Leaf\ Area\ Ratio = LAI / W_L$	$[m^2\ foglie\ kg^{-1}\ pianta]$
$SLA = Specific\ Leaf\ Area = LAI / W_L$	$[cm^2\ g^{-1}\ foglie]$
$TWR = Top\ Weight\ Ratio = W_L + W_{FS} / W$	$[g\ foglie + falso\ stelo\ g^{-1}\ pianta]$
$BWR = Bulb\ Weight\ Ratio = W_B / W$	$[g\ bulbi\ g^{-1}\ pianta]$

dove W_1 e W_2 sono il peso secco totale W della pianta misurato al tempo t_1 e t_2 , W_L il peso delle foglie, W_B il peso del bulbo e W_{FS} il peso del falso stelo.

Le funzioni matematiche utilizzate per descrivere le relazioni non lineari dei dati campionari o di indici utili all'analisi della crescita della coltura (funzione di Gompertz, esponenziale e di potenza), nell'arco temporale di riferimento in cui le condizioni pratiche richiedono il loro utilizzo, sono state definite attraverso il metodo iterativo Gauss – Newton disponibile come funzione del software statistico R (R Core Team, 2015), attraverso la funzione “nls” che permette di ottenere un'approssimazione accettabile dei valori reali. Per le regressioni, tenendo conto



della disomogeneità delle varianze, è stata fatta, quando necessario, una trasformazione di *Box* e *Cox* nel logaritmo naturale o nella radice quadrata, (valore di $\lambda = 0; 0,5$) per i valori x ed y del modello, consentendo poi di effettuare un plotting nella scala naturale dei valori. Per quanto riguarda la regressione lineare, è stata utilizzata la funzione “lm” disponibile nel software statistico R (R Core Team, 2015), definendo gli errori standard e il coefficiente R^2 della regressione.

L'adattamento delle funzioni ai dati osservati è stato valutato con il test per la mancanza di adattamento (*lack of fit*), l'osservazione della distribuzione dei residui e la valutazione dei valori degli errori standard (*standard error*, SE) dei parametri stimati delle regressioni.

Tutti i dati sono stati sottoposti ad Analisi della Varianza (*ANalysis Of VAriance*, ANOVA) impiegando il software statistico R (R Core Team, 2015).

Considerando gli assorbimenti totali alla raccolta è stato determinato il prelievo apparente relativo (*Apparent Recovery*, REC), secondo il modello proposto da Greenwood *et al.*, (1989) per il quale $REC = (U_f - U_0)/N_f$; dove REC = frazione della dose di azoto distribuito che viene assorbita dalla coltura (prelievo apparente relativo); U_f = azoto assorbito (kg ha^{-1}) dalla coltura quando è applicata la dose N_f (kg ha^{-1}); U_0 = N assorbito (kg ha^{-1}) nelle parcelle non concimate.

8 – RISULTATI E DISCUSSIONE

8.1 – Emergenza

Nel periodo iniziale sino ai 30 giorni dopo la semina si sono susseguite temperature del terreno e dell'aria superiori ai 10 °C e le emergenze sono state pressoché lineari (Figura 46). Con il progredire della stagione autunnale, quindi l'avvicinarsi dell'inverno, le temperature si sono abbassate e le emergenze sono continuate a ritmi crescenti ma meno che lineari per poi arrestarsi al raggiungimento del completo germogliamento avvenuto 66 giorni dopo la semina.

Considerando che il germogliamento inizia con temperature del terreno al di sopra di 5 °C, il suo completamento è avvenuto con somme termiche pari a 430 Gradi Giorno [$\text{Gradi Giorno} = T_{\text{media}} - T_{\text{base}}$, dove T_{media} = temperatura media del terreno e $T_{\text{base}} = 5 \text{ °C}$]. La significativa relazione lineare tra emergenze % e GDD (*Growing Day Degree*) (Figura 47) indica che per ogni 10 GDD accumulati si ha un incremento di 5,4 punti percentuali di emergenza.

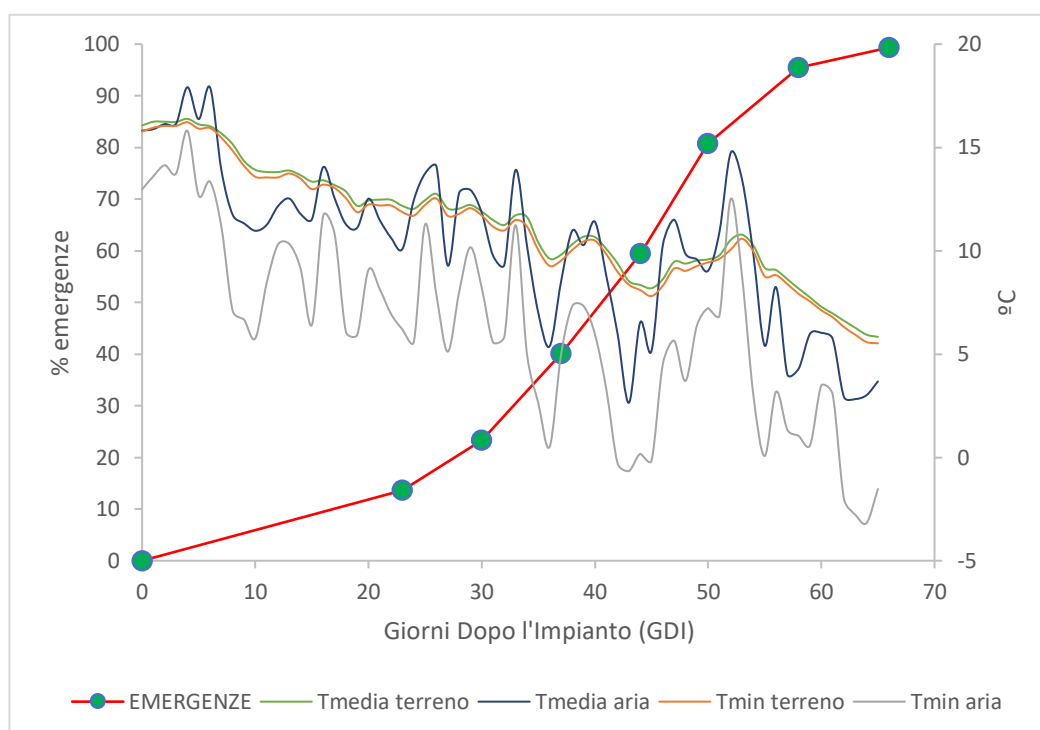


Figura 46: Andamento delle temperature medie e minime giornaliere dell'aria e del terreno a 5 cm di profondità e della % cumulata delle emergenze nell'agligione seminato il 29.10.2019.

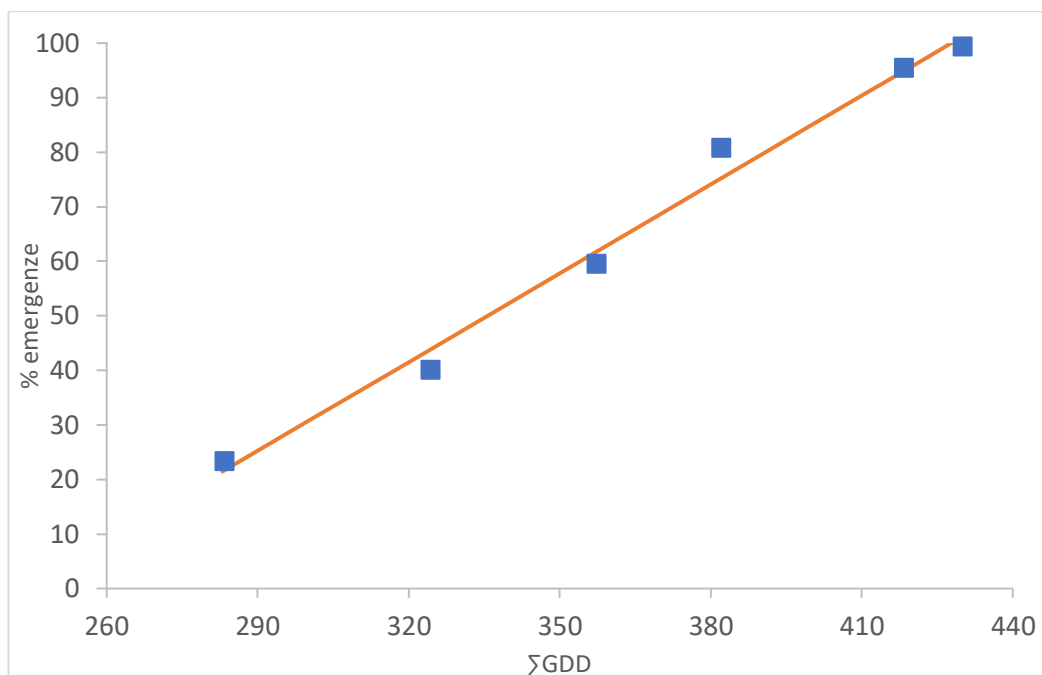


Figura 47: Relazione lineare tra GDD (*Growing Day Degree*) e emergenze % dell'aglione della Valdichiana. $GDD = T_{media} - T_{base}$, dove T_{media} = temperatura media del terreno e $T_{base} = 5^{\circ}C$; quando $T_{media} < 5^{\circ}C$, $GDD = 0$. La relazione lineare ha funzione $y = -132,1 + 0,54 \text{ GDD}$ ($R^2 = 0,98$).

8.2 – Analisi di crescita

Con l'aumento della dose di concimazione azotata è stato registrato un incremento del peso secco totale della coltura (Figura 48).

Nel primo prelievo (161 giorni dopo l'impianto, GDI) non si notano differenze significative fra le tesi, ma a partire dal secondo prelievo (189 GDI) la crescente disponibilità d'azoto determina scostamenti evidenti soprattutto alle dosi più alte (200 e 250 kg N ha⁻¹). In occasione dell'ultimo prelievo (233 GDI) i valori più elevati sono stati registrati con 100 e 200 kg ha⁻¹ di azoto (mediamente + 25% rispetto alla media degli altri tre trattamenti di concimazione). La dose più alta, pari a 250 kg ha⁻¹ di azoto, sembra abbia fatto registrare perdite di sostanza secca per maggiore senescenza del fogliame come si evince dall'andamento della superficie assimilatoria: vedi Figura 52.

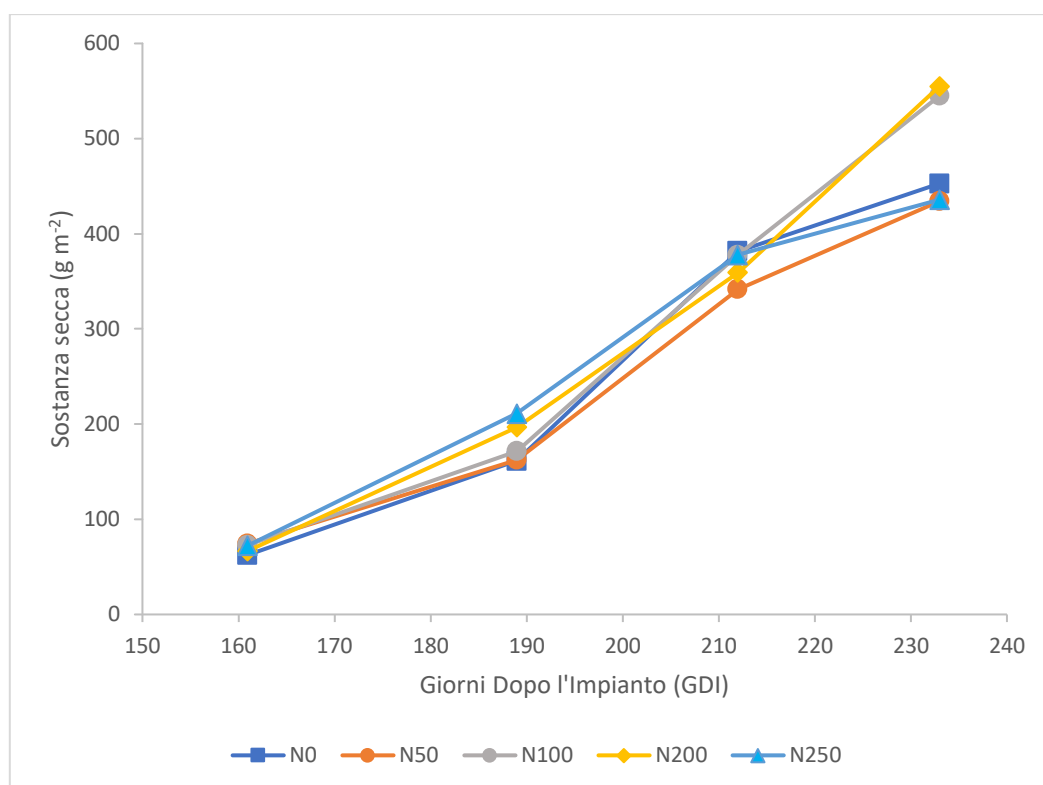


Figura 48: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) della produzione di sostanza secca (g m^{-2}) in funzione delle diverse tesi di concimazione in aglione della Valdichiana (errore standard delle medie dei prelievi, SEM, varia da 3,03 a 8,02). Simboli e colori diversi stanno ad indicare i diversi livelli di concimazione azotata testati nella prova.

I dati della sostanza secca in funzione dei Giorni Dopo l'Impianto, GDI mostrano delle differenze modeste per cui è possibile adattare una funzione unica che descriva i dati complessivamente, in particolare la funzione di Gompertz del tipo $DW = b + (c - b)e^{-e^{[a(GDI - d)]}}$, per la modellizzazione della crescita della coltura espressa in t ha^{-1} (Figura 49). Nella prima parte del ciclo colturale, fino a 189 GDI si ha una fase di crescita esponenziale, seguita da una fase lineare (190 a 212 GDI) per poi terminare con la fase di senescenza della coltura.

Questi 3 periodi distinti di crescita sono caratterizzati da tassi assoluti di crescita CGR, (*Crop Growth Rate*) medi delle tesi, che assumono valori diversi: durante la fase di crescita esponenziale (161 – 189 GDI), corrispondente al rapido accrescimento della superficie fotosintetizzante, il CGR si è attestato su valori medi di circa $3,9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, durante la fase di crescita lineare corrispondente al rapido ingrossamento del bulbo (da 189 a 212 GDI) i tassi assoluti di crescita (CGR, *Crop Growth Rate*) medi delle tesi concimate sono stati di circa $8,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ per poi concludere la crescita con la fase finale di senescenza (212 – 233 GDI) in cui il CGR diminuisce a valori medi di $5,6 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Tutti i valori riscontrati su aglione

sono risultati superiori rispetto a quelli dell'aglio comune (Abou El-Magd, *et al.*, 2013).

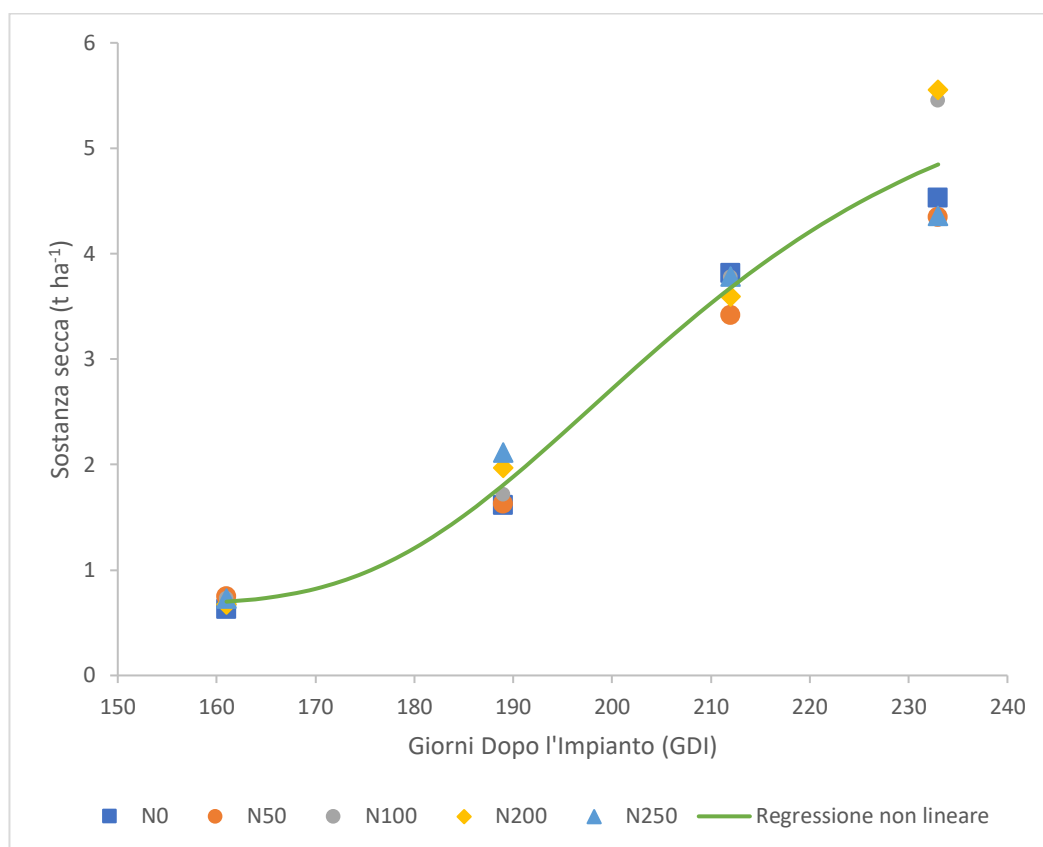


Figura 49: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) della produzione di sostanza secca ($t\ ha^{-1}$) in funzione delle diverse tesi di concimazione azotata in aglione di Valdichiana adottando una funzione di Gompertz del tipo $DW = b + (c - b)e^{-e^{[a(GDI-d)]}}$ con i seguenti valori stimati dei parametri: $a = -0,045$ (SE = 0,0126), $b = 0,67$ (SE = 0,174), $c = 5,82$ (SE = 0,743), $d = 198,23$ (SE = 3,979).

Il TWR [*Top Weight Ratio*, rapporto in peso ($g\ g^{-1}$) tra parte aerea (lamine fogliari + falso stelo) e parte ipogea (bulbo)] non ha subito variazioni significative in funzione della concimazione azotata (Figura 50) ma, come atteso, è diminuito esponenzialmente con l'avanzare del ciclo culturale: mediamente è passato da 0,61 (161 GDI) a 0,16 (233 GDI).

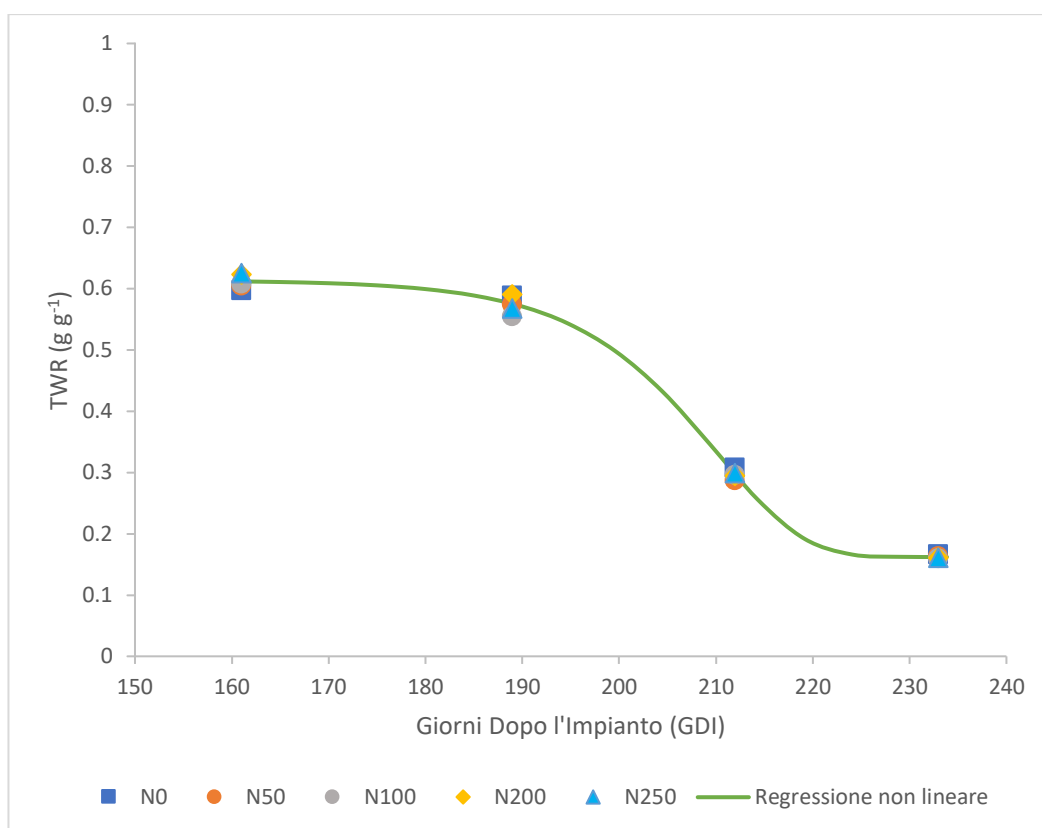


Figura 50: Andamento nel tempo (giorni dopo l'impianto, GDI) del TWR (*Top Weight Ratio*, $g_{\text{foglie+falso stelo}} g_{\text{pianta}}^{-1}$) dell'aglione della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione. La funzione di Gompertz: $TWR = b + (c - b)e^{-e^{[a(GDI - d)]}}$ ha i seguenti valori stimati dei parametri: $a = 0,114$ (SE = 0,0080), $b = 0,162$ (SE = 0,0046), $c = 0,613$ (SE = 0,0051), $d = 210,33$ (SE = 0,339).

Anche il BWR (*Bulb Weight Ratio*, $g_{\text{bulbi}} g_{\text{totale pianta}}^{-1}$) non ha evidenziato variazioni significative in funzione della concimazione azotata (Figura 51) ma è ovviamente aumentato con l'avanzare del ciclo colturale e con l'ingrossamento dell'organo ipogeo: mediamente è passato da 0,39 (161 GDI) a 0,84 (233 GDI).

Nella fase finale del ciclo, la sostanza secca allocata nel bulbo era mediamente pari a $406 g m^{-2}$ corrispondenti a circa $85 g \text{ bulbo}^{-1}$, oltre l'84% della biomassa totale della coltura.

L'andamento del TWR e del BWR conferma come la pianta una volta iniziato il processo di bulbificazione, destini la maggior parte dei fotosintati per l'ingrossamento dell'organo di riserva, così come accade in altre specie bulbose come la cipolla (Tei *et al.*, 1996a, 1996b).

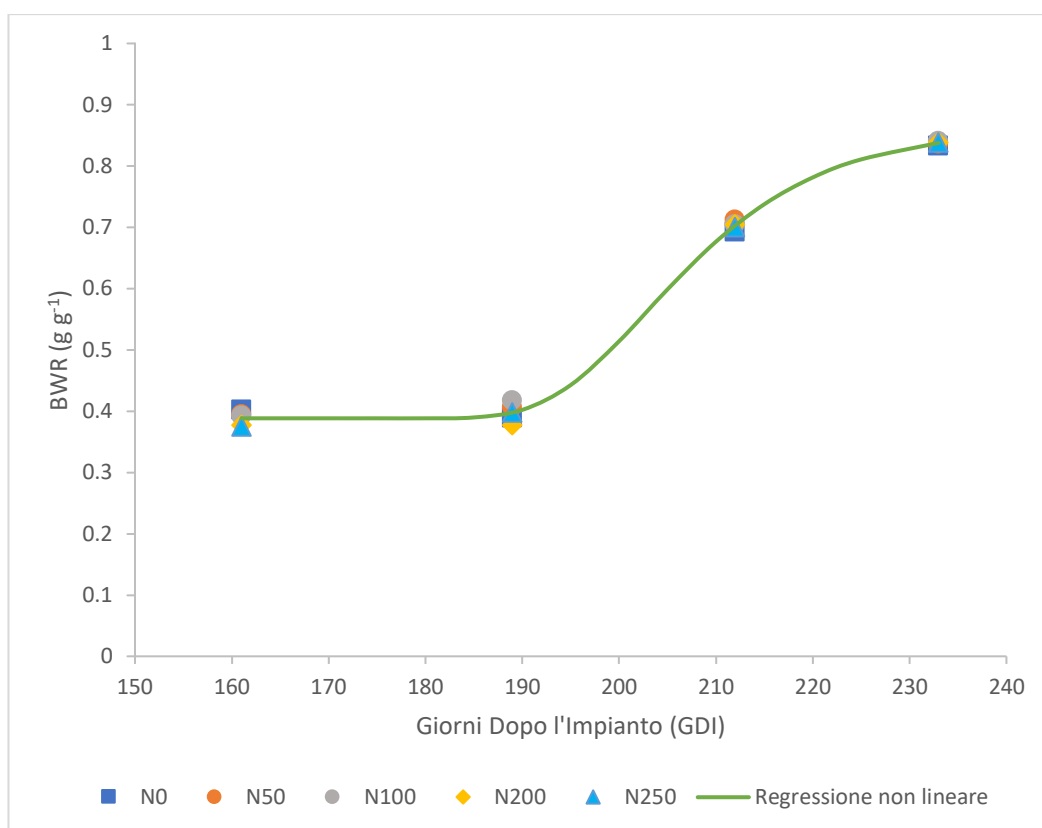


Figura 51: Andamento nel tempo (giorni dopo l'impianto, GDI) del BWR (*Bulb Weight Ratio*, $g_{bulbi} g_{pianta}^{-1}$) dell'aglione della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione. La funzione di Gompertz: $BWR = b + (c - b)e^{-e^{[a(GDI - d)]}}$ ha i seguenti valori stimati dei parametri: $a = -0,098$ (SE = 0,0087), $b = 0,388$ (SE = 0,0047), $c = 0,862$ (SE = 0,0084), $d = 202,86$ (SE = 0,716).

Il LAI della coltura non è stato influenzato dalla concimazione azotata ma solo dall'epoca di campionamento. Nonostante la differenze tra i diversi livelli di concimazione, i valori del LAI non sono risultati diversi tra di loro in maniera significativa (Figura 52) nemmeno all'epoca del secondo prelievo 189 GDI in cui le differenze campionarie sono di maggiore entità tra le diverse tesi di concimazione.

Comunque, in tutte le tesi sperimentali, il valore massimo del LAI è stato raggiunto 189 GDI; con valori medi pari a 0,47. Dalla Figura 52 si evince che nonostante non vi siano differenze significative tra le diversi tesi per $p < 0,05$, la tesi 250 kg N ha⁻¹ ha mostrato un andamento che si discosta dai valori medi a 189 GDI per poi scendere sotto la media delle altre tesi per senescenza del fogliame a 233 GDI, come confermato dalla perdita di sostanza secca nella Figura 48.

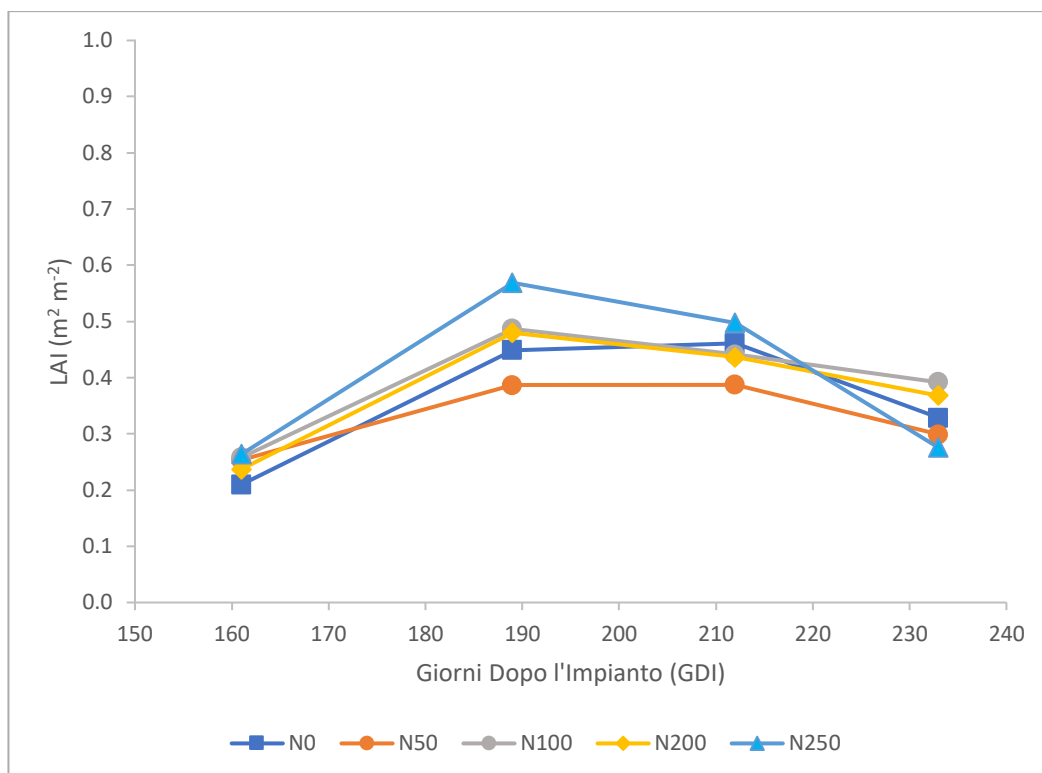


Figura 52: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) del LAI dell'aglione della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione (errore standard delle medie dei prelievi, SEM = 0,019)

La % di PAR intercettata dalla coltura, stante i bassi valori di LAI, è risultata ovviamente piuttosto bassa (Figura 53): al massimo (189 GDI) la coltura ha intercettato circa il 21% della PAR incidente come media delle diverse tesi di concimazione azotata non mostrando differenze significative tra le diverse dosi somministrate.

La relazione grafica tra intercettazione % della PAR e LAI (Figura 54) è usata per stimare il coefficiente di estinzione della luce k quale pendenza della regressione lineare passante per l'origine di $\ln(Q_t/Q_i)$ in funzione del LAI, dove Q_t = PAR trasmessa e Q_i = PAR incidente (Lemur e Blad, 1974).

Come per tutte le altre specie orticole appartenenti alla famiglia delle *Liliaceae* (Tei *et al.*, 1996a, 1996b, Giménez *et al.*, 2016) in aglione di Valdichiana si osserva un portamento erettofilo delle foglie con coefficiente medio di estinzione della luce, k , basso ($k = 0,47$) che abbinato a bassi valori del LAI (Figura 52) comporta un modesto assorbimento della radiazione incidente. Il portamento delle foglie e la bassa capacità di intercettazione della radiazione da parte della coltura si evidenzia molto bene nella Figura 55.

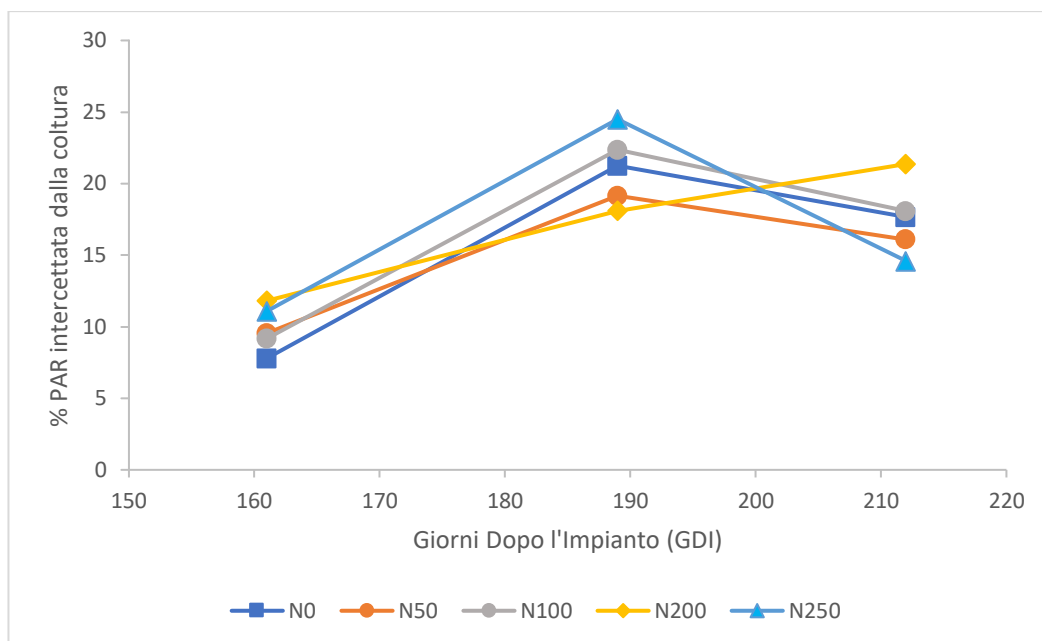


Figura 53: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) della % di intercettazione della PAR da parte dell'agione della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione (errore standard delle medie dei prelievi, SEM che varia da 0,64 a 1,36).

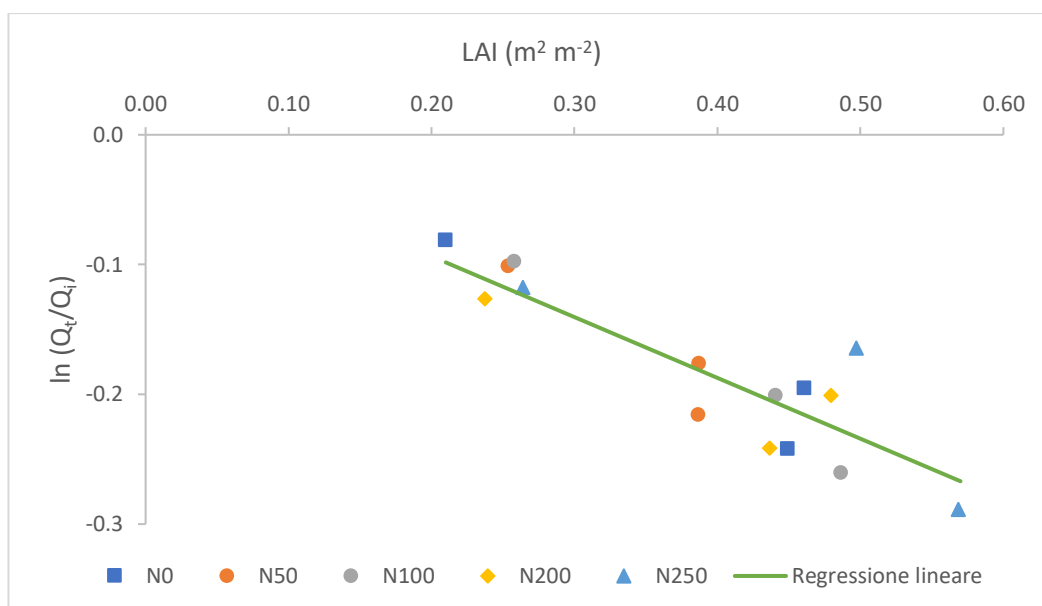


Figura 54: Relazione lineare tra il logaritmo naturale della frazione della PAR trasmessa dalla coltura (Q_t/Q_i) e il LAI in agione della Valdichiana. I simboli rappresentano i dati osservati per le diverse tesi di concimazione, la linea continua rappresenta la funzione lineare passante per l'origine ($R^2 = 0,98$) la cui pendenza è il coefficiente medio di estinzione della luce ($k = 0,47$).

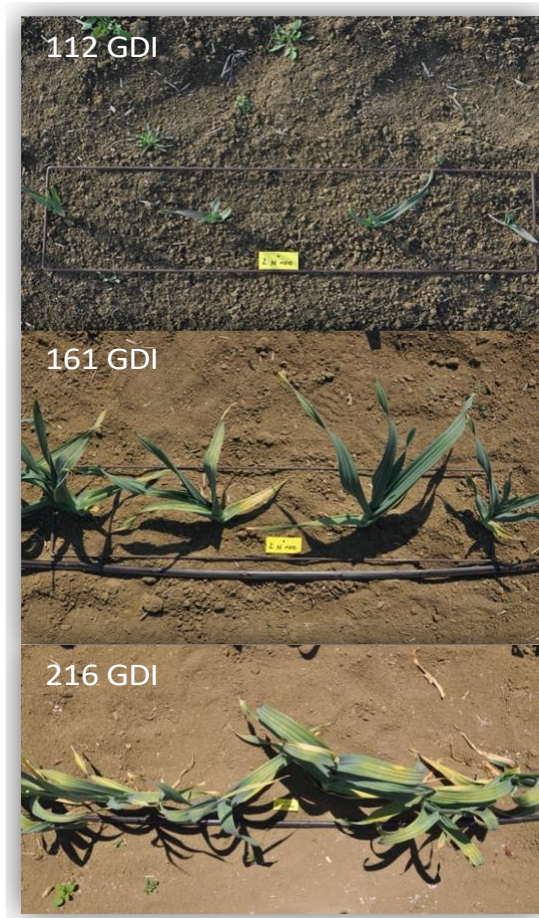


Figura 55: Evidente bassa capacità d'intercettazione dell'agljone: foto di una parcella effettuate il 18.2.2020 (112 GDI), l'8.4.2020 (162 GDI) e il 1.6.2020 (216 GDI), concimata con 100 kg N ha^{-1} .

Il LAR (*Leaf Area Ratio*, $\text{m}^2_{\text{foglie}} \text{ kg}^{-1}_{\text{pianta}}$) non ha evidenziato differenze significative in funzione della concimazione azotata, ma è diminuito esponenzialmente con l'avanzare del ciclo colturale (Figura 56) confermando che la coltura, con l'avanzare del ciclo investe sempre meno in superficie assimilante destinando i fotosintati all'accrescimento dell'organo di riserva.

Il LAR, come noto, è il prodotto del LWR (*Leaf Weight Ratio*, $\text{g}_{\text{foglie}} \text{ g}^{-1}_{\text{pianta}}$) per lo SLA (*Specific Leaf Area*, $\text{cm}^2_{\text{foglie}} \text{ g}^{-1}_{\text{foglie}}$). Mentre l'andamento dell'LWR, incluso nel TWR, come già evidenziato, è molto influenzato dalla fase di crescita e poco o nulla dalla concimazione azotata (Figura 50), l'andamento dello SLA (Figura 57) in funzione del tempo e della dose di azoto non evidenzia variazioni significative né tra le dosi di concimazione né tra le date di prelievo: in media l'agljone ha uno SLA di $82 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$.

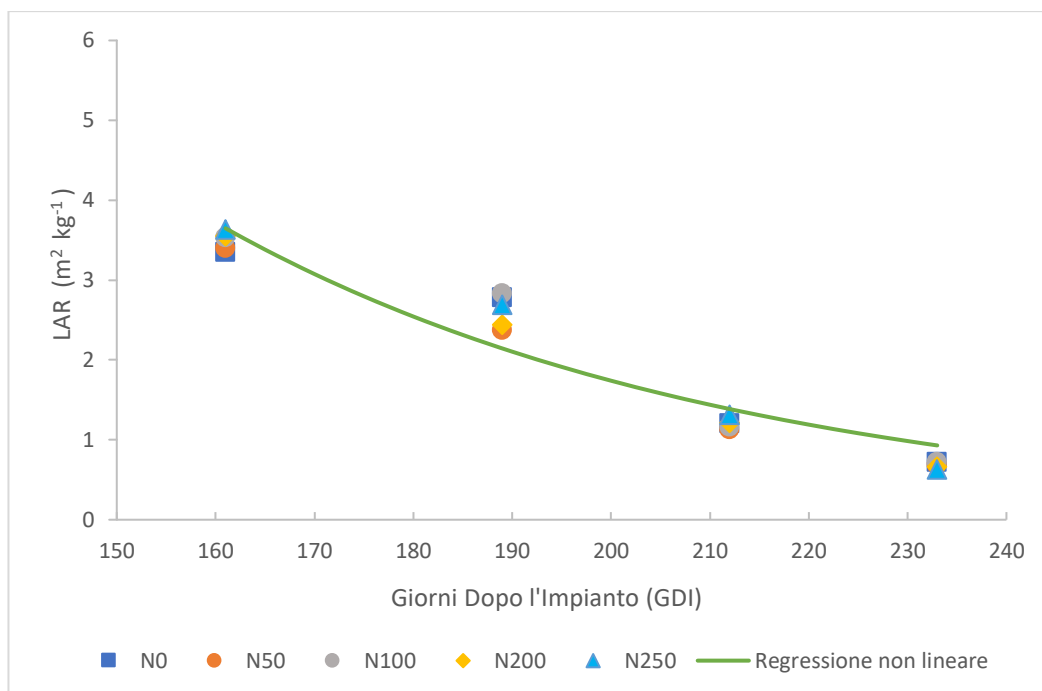


Figura 56: Andamento nel tempo (giorni dopo l'impianto, GDI) del LAR (*Leaf Area Ratio*, $\text{m}^2_{\text{foglie}} \text{kg}^{-1}_{\text{pianta}}$) dell'aglio della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione. La funzione esponenziale $\text{LAR} = a e^{-b \text{GDI}}$ ha i seguenti valori stimati dei parametri: $a = 77,49$ (SE = 21,323), $b = 0,019$ (SE = 0,0016).

In generale, SLA più alti sono indice di foglie più sottili, con maggiore trasmissione della luce e minore contenuto di enzimi e di strutture fotosintetizzanti per unità di area fogliare (Goudriaan e Monteith, 1990); alcuni autori (Charles-Edwards, 1982) indicano che per una determinata intensità di radiazione i tassi di fotosintesi tendono ad essere più elevati con SLA più bassi, così che le colture possano mantenere una produzione di fotosintati comunque elevata. In verità la relazione tra SLA e produttività non è mai stata chiaramente stabilita (Goudriaan e Monteith, 1990). I valori di SLA riscontrati sui dati osservati non si discostano molto da quelli dell'aglio comune (*Allium sativum* L.) riscontrati da Abou El-Magd *et al.*, (2013), che vanno da 60 a 100 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

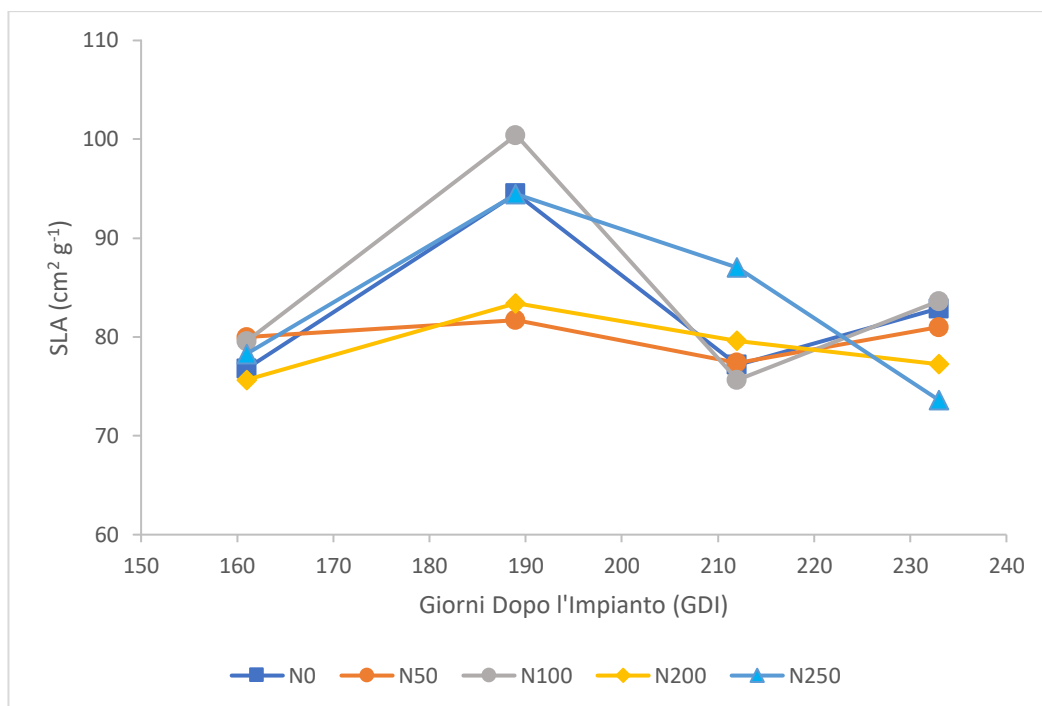


Figura 57: Andamento nel tempo (giorni dopo l'impianto, GDI) dello SLA (*Specific Leaf Area*, $\text{cm}^2_{\text{foglie}} \text{g}^{-1}_{\text{foglie}}$) dell'aglio della Valdichiana in funzione delle diverse tesi di concimazione (l'errore standard delle medie dei prelievi, SEM = 0,00023).

8.3 – Assorbimento di azoto

L'andamento della quantità di azoto assorbito dalla coltura (Figura 58) ricalca strettamente quello dell'accumulo di sostanza secca (Figura 48) e stanti le modeste differenze tra le medie dei dati osservati, per le diverse tesi di concimazione azotata, è stata utilizzata la funzione di Gompertz a 4 parametri: $N_{\text{assorbito}} = b + (c - b)e^{-e^{a(GDI - d)}}$, per la modellizzazione degli andamenti nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) degli assorbimenti da parte della coltura (Figura 59).

Dalle Figure 58 e 59, si notano delle differenze modeste durante tutto il ciclo colturale che si accentuano durante la fase finale (233 GDI) per le tesi corrispondenti a 100 e 200 kg N ha^{-1} . Nella fase lineare di crescita si ha un assorbimento medio dell'azoto (*Nitrogen Uptake Rate*, NUR), come media delle diverse tesi di concimazione, di 2 kg N $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, superiore rispetto a quello dell'aglio comune, che si attesta intorno a valori di 1,6 kg N $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ (Giménez *et al.*, 2016).

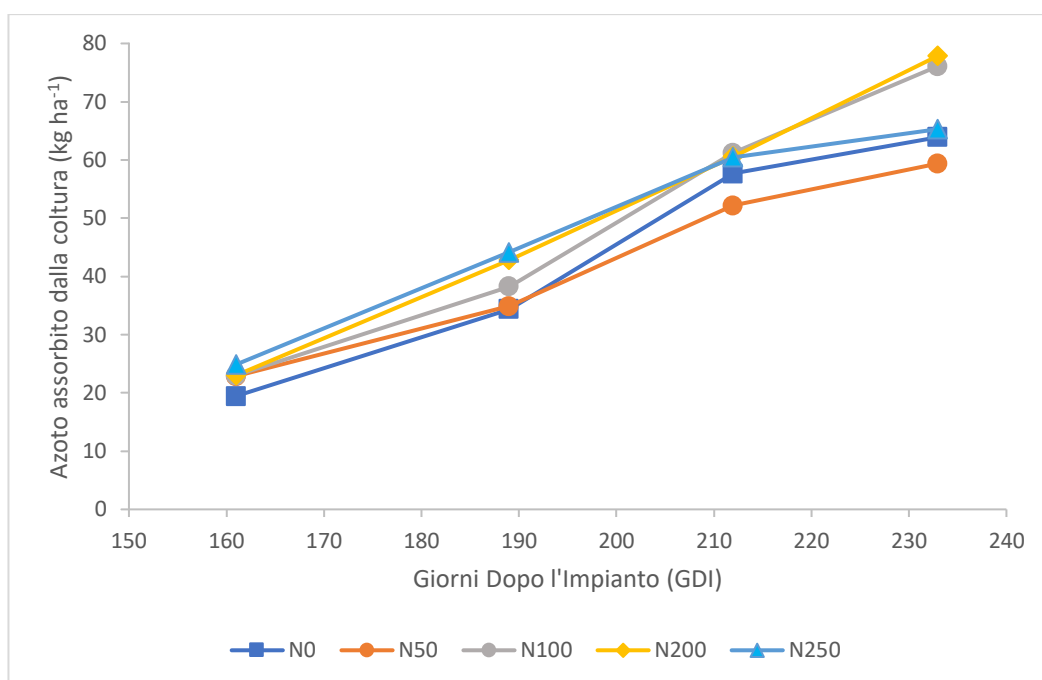


Figura 58: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'impianto, GDI) dell'assorbimento di azoto (kg ha^{-1}) da parte della coltura. Simboli e colori differenti si riferiscono alle diverse tesi di concimazione in aglione di Valdichiana. L'errore standard delle medie dei prelievi, SEM, varia da 0,54 a 1,66.

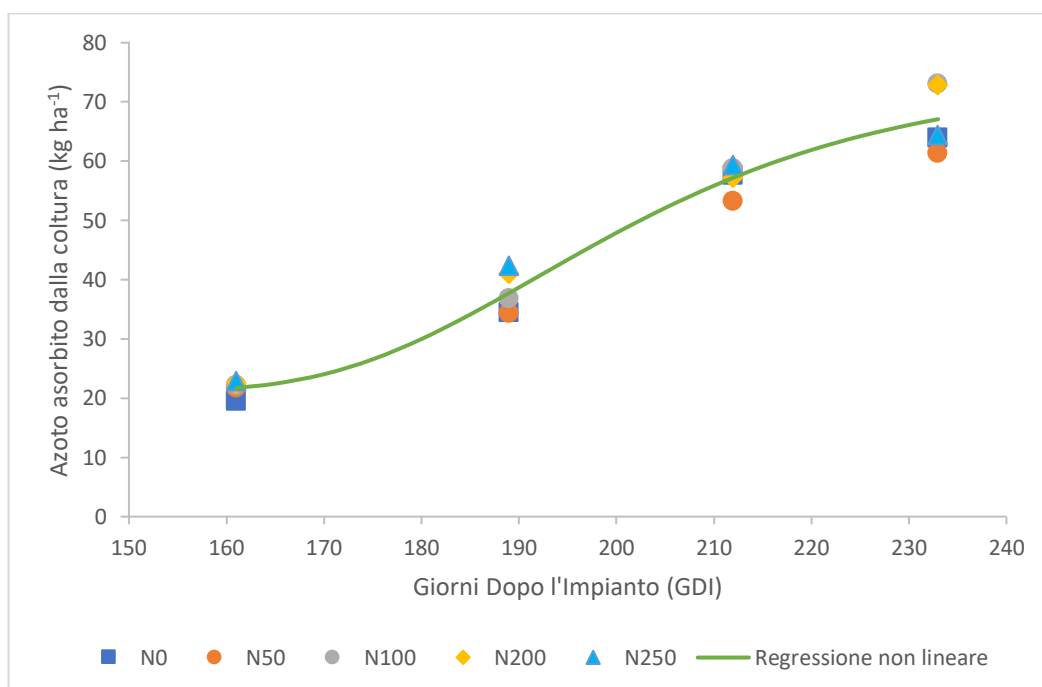


Figura 59: Andamento nel tempo (Giorni Dopo l'Impianto, GDI) dell'assorbimento di azoto da parte della coltura (kg ha^{-1}) modellizzato attraverso una funzione di Gompertz: $N_{\text{assorbito}} = b + (c - b)e^{-e^{[a(GDI - d)]}}$ con i seguenti parametri stimati: $a = -0,048$ (SE = 0,0145), $b = 21,14$ (SE = 2,207), $c = 73,81$ (SE = 6,100), $d = 191,95$ (SE = 2,845).

Gli assorbimenti totali a fine ciclo, rispetto al controllo non concimato, sono risultati più elevati solo con le dosi di 100 e 200 kg N ha⁻¹ (Figura 60) in cui si attestano intorno a valori medi di 81 kg N ha⁻¹, ma non significativamente differenti dalle dosi 250 e 0 kg N ha⁻¹ in cui gli assorbimenti sono in media pari a 65 kg N ha⁻¹. Solo la dose di 50 kg N ha⁻¹ è risultata significativamente differente rispetto alle altre, con un assorbimento di azoto pari a 61,8 kg N ha⁻¹.

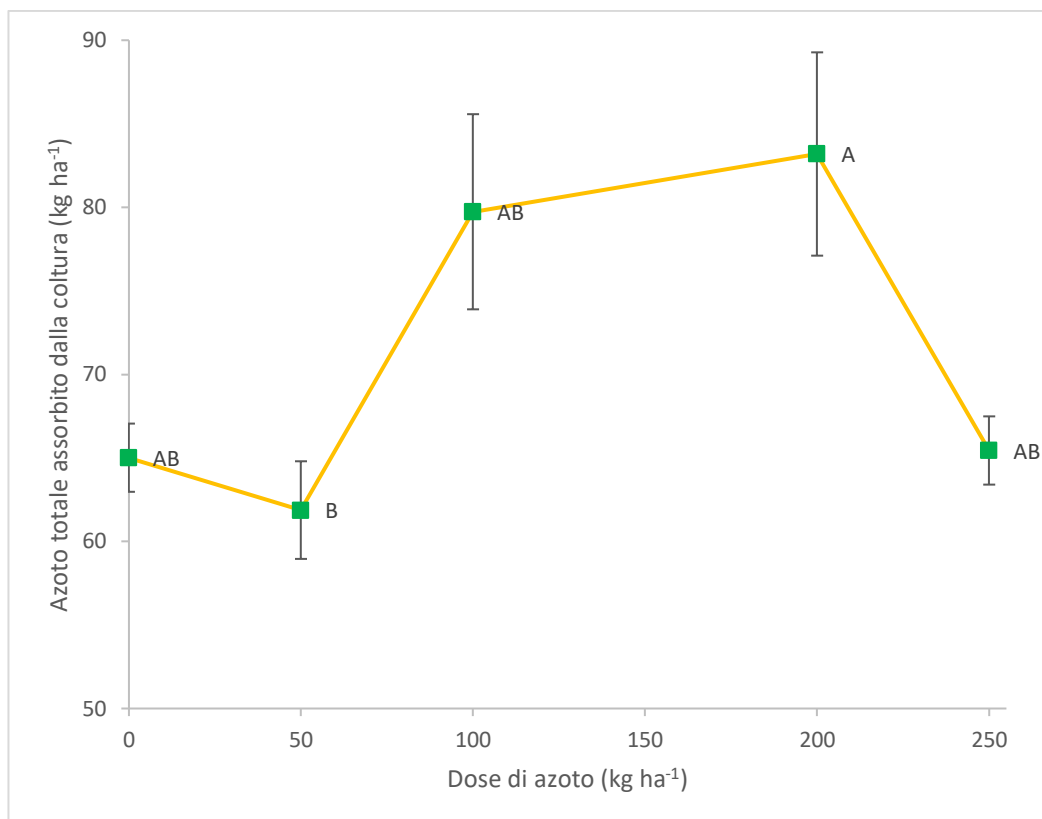


Figura 60: Assorbimento di azoto totale (kg ha⁻¹) da parte della coltura, in funzione della dose di concimazione (kg N ha⁻¹). Le barre verticali rappresentano gli errori standard delle medie. Medie con lettere uguali in comune non sono significativamente differenti per $p < 0,05$ secondo il Tukey test.

Il contenuto % medio di azoto della pianta è risultato non essere influenzato dalla dose di concimazione, ma dipendente solo dalla biomassa cumulata, come evidenziato dalla Figura 61, che riporta la % media di azoto dell'aglio in funzione delle t ha⁻¹ di sostanza secca. La funzione adattata ai dati osservati segue il modello proposto da Greenwood *et al.* (1990): $\%N = a DW^{-b}$.

La funzione così definita permette anche di derivare facilmente la funzione di assorbimento dell'azoto (kg N ha⁻¹) in funzione della sostanza secca cumulata (t ha⁻¹) (Greenwood *et al.*, 1990): $N_{\text{assorbito}} = 10 a DW^{1-b}$ (Figura 62).

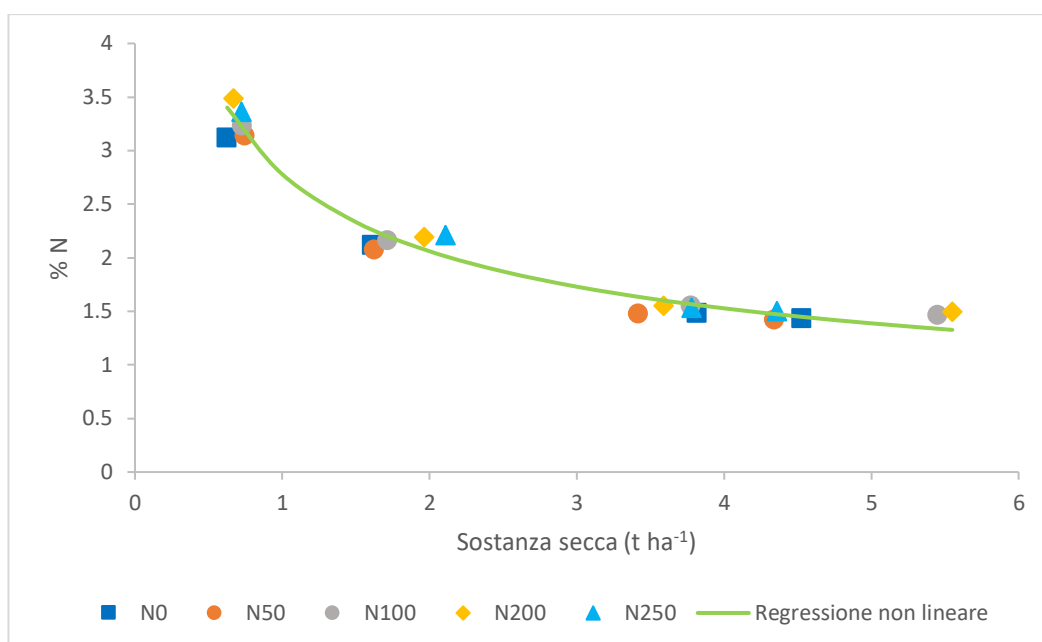


Figura 61: Relazione tra %N media e sostanza secca (t ha⁻¹) dell'aglio. Simboli diversi rappresentano tesi diverse di concimazione azotata. La funzione $\%N = a DW^{-b}$ ha i seguenti valori stimati dei parametri: $a = 2,78$ (SE = 0,040), $b = 0,43$ (SE = 0,018).

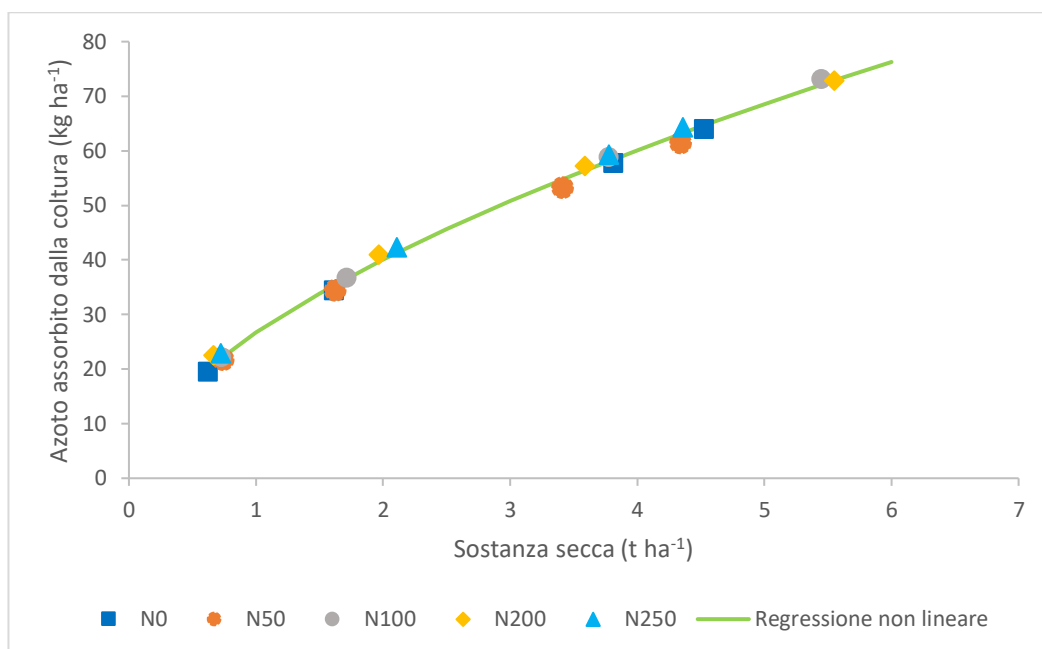


Figura 62: Relazione tra N assorbito dalla coltura (kg N ha⁻¹) e sostanza secca prodotta (t ha⁻¹) dell'aglio. Simboli diversi rappresentano tesi diverse di concimazione azotata. La funzione $N_{\text{assorbito}} = 10 a DW^{1-b}$ ha i seguenti valori stimati dei parametri (vedi Figura 61): $a = 2,78$ (SE = 0,040), $b = 0,43$ (SE = 0,018).

La relazione tra i tassi di crescita relativi (*Relative Growth Rate*, RGR, $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) ed il contenuto % di azoto delle lamine (Figura 63) evidenzia, in media tra le dosi di azoto, un andamento lineare. La relazione lineare è in accordo con la teoria che lega RGR e N% nelle piante (Agren, 1985; Lemaire *et al.*, 1990; Greenwood *et al.*, 1991), per la componente fotosinteticamente attiva (lamine), confermandone l'importanza per la modellizzazione della crescita e dell'assorbimento di azoto (Greenwood *et al.*, 1991; Tei *et al.*, 1996c; Le Bot *et al.*, 1998). L'analisi della varianza (*ANalysis of VAriance* ANOVA) non mostra una significativa differenza dei tassi di crescita relativi, in funzione della tesi di concimazione per un valore di $p < 0,05$.

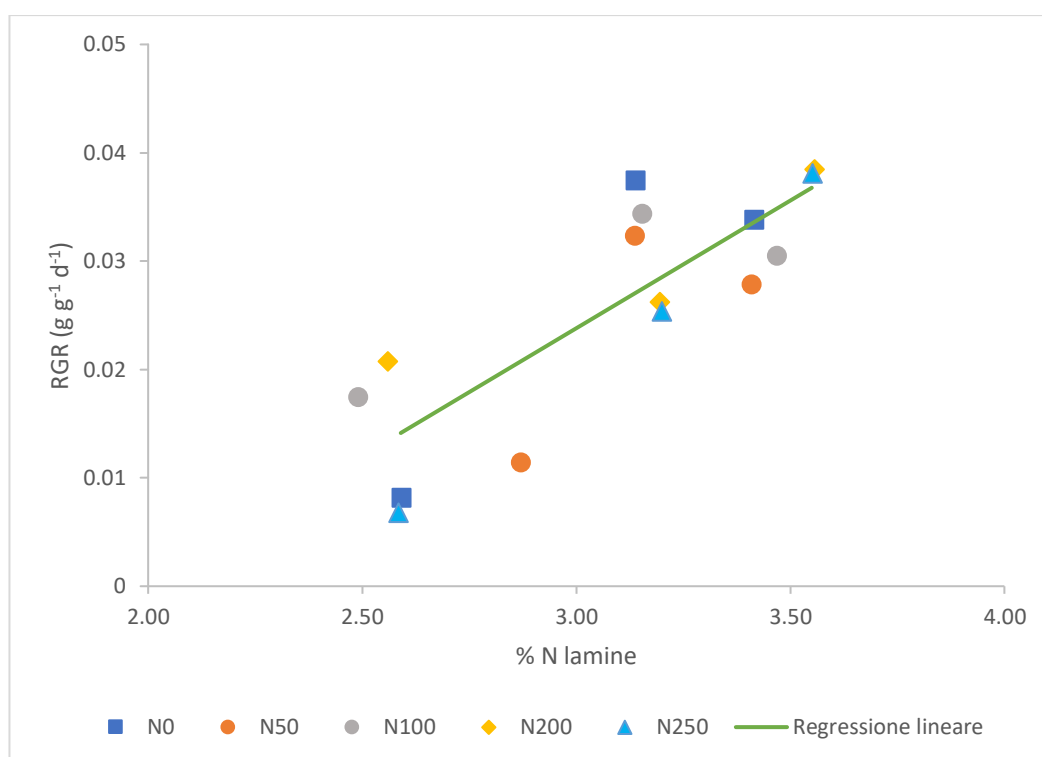


Figura 63: Relazione lineare tra RGR (*Relative Growth Rate*, $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) e % di N delle lamine fogliari in aglione della Valdichiana. I simboli rappresentano i dati osservati per le diverse tesi di concimazione, la linea continua rappresenta la funzione lineare di regressione ($R^2 = 0,66$).

La determinazione dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) in ogni parcella, attraverso l'utilizzo del radiometro multispettrale *CropScan* (Cropscan Inc., Fargo, ND, USA), ha evidenziato l'assenza di relazione tra NDVI e dosi di concimazione azotata (kg N ha^{-1}) e quindi un andamento costante delle misurazioni, causato dal basso ricoprimento del terreno da parte della coltura e dall'ampia spaziatura tra le file; per queste ragioni sarebbe più opportuno l'utilizzo dell'indice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) (Tabella 4) normalmente utilizzato per correggere l'INDVI dall'influenza della riflettanza del suolo nelle condizioni di scarsa copertura vegetale.

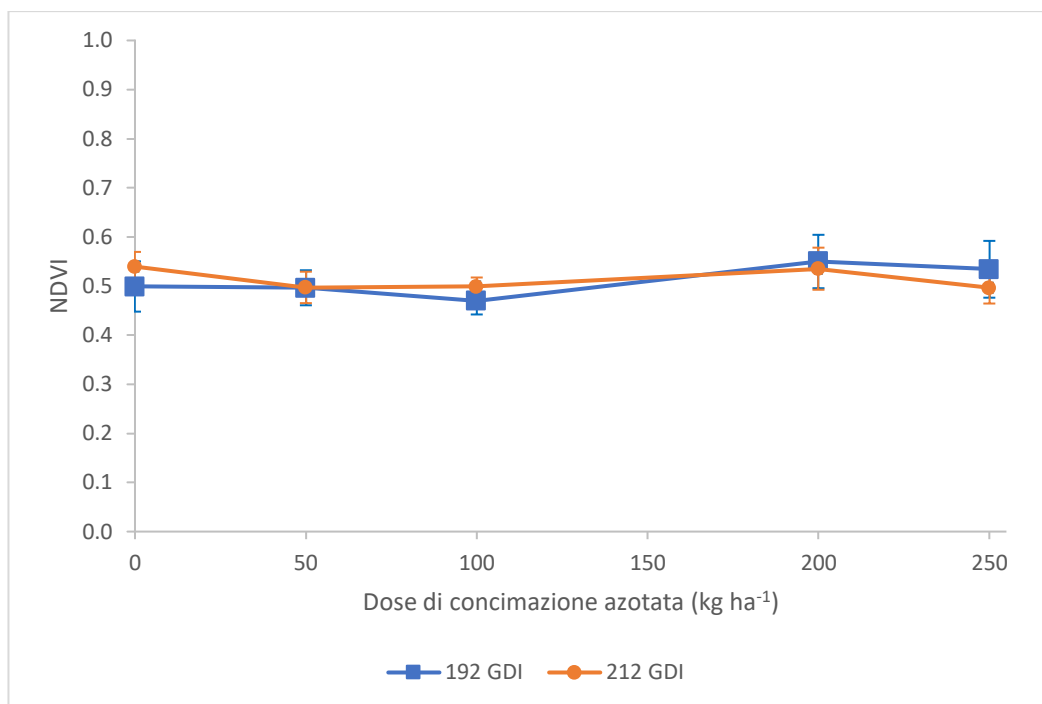


Figura 64: Andamento dell'indice NDVI in funzione della dose di concimazione azotata (kg N ha⁻¹). Le linee spezzate rappresentano il valore dell'indice alle diverse dosi di concimazione, nei due momenti di prelievo dei dati (192 Giorni Dopo l'Impianto, GDI e 212 GDI) e le barre verticali gli errori standard delle medie.

Il prelievo apparente relativo (*Apparent Recovery*, REC) è diminuito, come previsto, con la dose di azoto (Greenwood *et al.*, 1989): con la dose pari a 100 kg N ha⁻¹ risulta essere pari a 0,15 e con la dose 200 kg N ha⁻¹ pari a 0,09: questi valori bassi confermano la bassissima efficienza di assorbimento di azoto da parte delle specie orticole appartenenti alla famiglia delle *Liliaceae* (Tremblay *et al.*, 2001).

Alle dosi sia di 50 kg ha⁻¹ sia di 250 kg ha⁻¹, il REC è risultato avere valori prossimi a 0, ma per motivi diversi: la dose più bassa era probabilmente coincidente con il margine di sicurezza (Tremblay *et al.*, 2001; Agostini *et al.*, 2010; Tei *et al.*, 2020), mentre la dose più alta ha determinato precoce senescenza del fogliame (Figura 52), confermato anche dalla perdita di sostanza secca (Figura 48; Figura 49) e conseguentemente crescita e assorbimento di azoto non proporzionale con le aumentate disponibilità azotate (Figura 60), soprattutto in comparazione con le dosi 100 – 200 kg N ha⁻¹.

8.4 – Produzione e diametro dei bulbi alla raccolta

La produzione è stata significativamente aumentata dalla concimazione azotata (Figura 65), statisticamente non sono state riscontrate differenze tra le dosi di azoto: mediamente l'aglio concimato ha prodotto 12,9 t ha⁻¹ (+18% circa

rispetto al controllo non concimato), con produzioni leggermente superiori rispetto a quelle mediamente riscontrate in Valdichiana ($10 - 11 \text{ t ha}^{-1}$).

Questo è probabilmente imputabile al fatto che la disponibilità di azoto del terreno sede della prova era considerevole (come visto in precedenza, la coltura nel controllo non concimato ha assorbito 65 kg ha^{-1} di azoto: vedi Figura 60), nonostante l'aglio sia stato preceduto da una coltura "sfruttante" come il frumento.

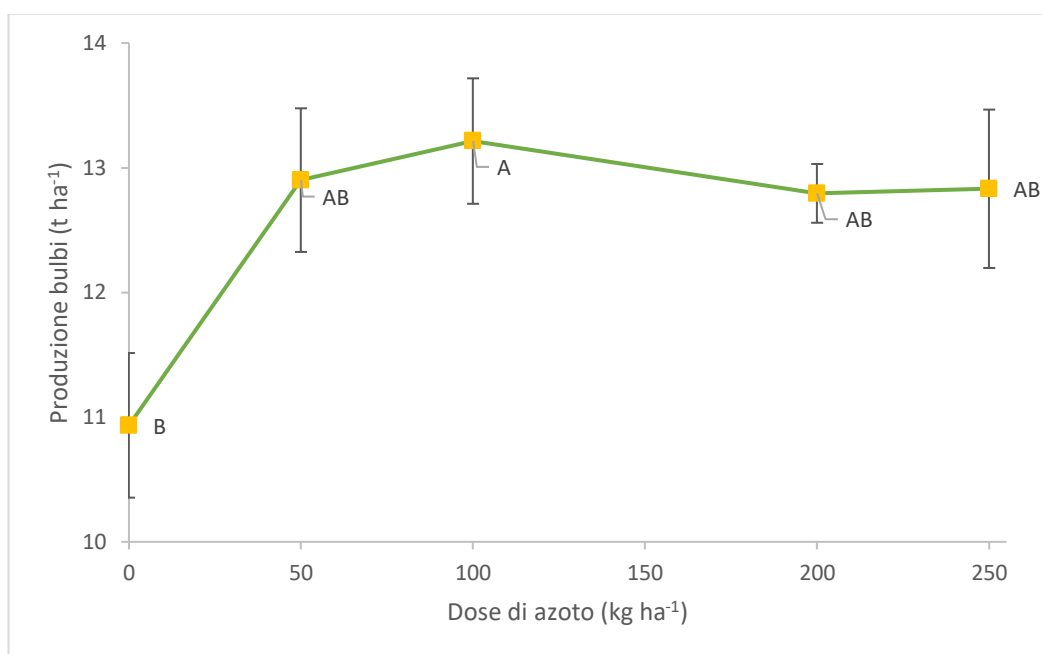


Figura 65: Produzioni di aglio della Valdichiana (t ha^{-1}) in funzione della dose di concimazione azotata (kg ha^{-1}). Le barre verticali rappresentano gli errori standard delle medie. Medie con lettere uguali in comune non sono significativamente differenti per $p < 0,05$ secondo il Tukey test.

I residui colturali che rimangono nel terreno, corrispondenti a foglie e parte del falso stelo, ($0,92 \text{ t ha}^{-1}$, con SEM che varia da $0,031$ a $0,129$) con contenuto di N pari al $2,18\%$ (SEM che varia da $0,047$ a $0,165$), apportano al terreno una quantità di N pari a 20 kg ha^{-1} che devono essere contemplati nel bilancio dell'azoto e che si renderanno disponibili per la coltura che segue in rotazione.

Il diametro dei bulbi alla raccolta (Figura 66) ha avuto un andamento sostanzialmente simile alla produzione: la concimazione azotata ha determinato un significativo incremento della dimensione dei bulbi rispetto al controllo non concimato ma le diverse dosi di azoto non sono risultate statisticamente diverse tra loro. Mediamente il diametro dei bulbi nelle parcelle concimate è stato di 99 mm ($+7\%$ circa rispetto al controllo non concimato), corrispondente ad un peso medio del bulbo commerciale di 272 g .

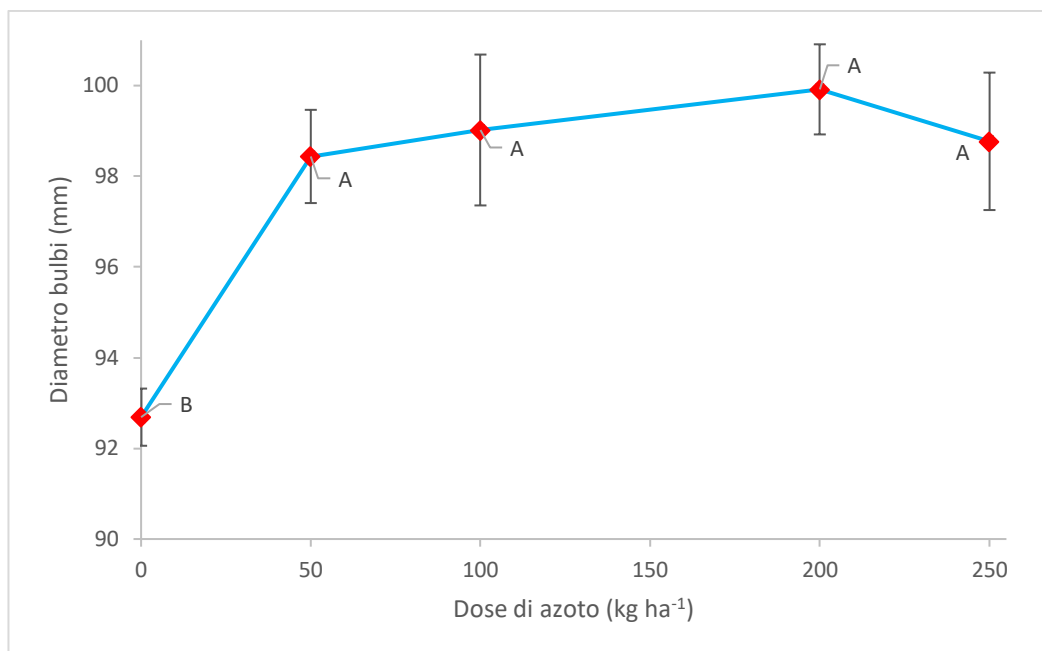


Figura 66: Diametro dei bulbi di aglio della Valdichiana (t ha⁻¹) in funzione della dose di concimazione azotata (kg ha⁻¹). Le barre verticali rappresentano gli errori standard delle medie. Medie con lettere uguali in comune non sono significativamente differenti per $p < 0,05$ secondo il Tukey test.

8.5 – Essiccazione naturale

I bulbi raccolti come prodotto fresco (contenuto medio di umidità del 72%) con conservazione a temperatura ambiente, per essiccazione naturale, dopo 6 giorni dalla raccolta hanno avuto un calo di peso del 9% e dopo 20 giorni del 16%. Questi dati sono interessanti ai fini commerciali, soprattutto in considerazione della perdita di peso complessivo per essiccamento, che supera il 50% e che si riflette nel prezzo finale di vendita che oscilla tra 15 – 20 € kg⁻¹ rispettivamente come vendita di prodotto fresco e conservato. Alcuni autori, Tremori e Santiccioli, 2016, riferiscono una perdita di peso del bulbo del 65% che comporta quindi ulteriori incrementi di prezzo del prodotto finale in epoche distanti dalla raccolta che può raggiungere i 25 € kg⁻¹.

9 – CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti dalla prova sperimentale, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- l'aglio a semina autunnale (fine ottobre) ha presentato una fase di germogliazione-emergenza lunga e scalare; l'emergenza iniziata 23 giorni dopo l'impianto (GDI), a seguito di un accumulo di 283 gradi giorno (T_{base} del terreno = 5 °C), è proseguita con un incremento lineare di 5,4 punti percentuali ogni 10 GG cumulati e si è conclusa 66 GDI (430 gradi giorno);

- la concimazione azotata ha determinato incrementi della produzione di sostanza secca e della produzione di bulbi e del loro diametro, ma non sono state riscontrate differenze significative tra le dosi crescenti di azoto (50-250 kg N ha⁻¹), confermando i limitati fabbisogni di azoto delle *Liliacee* in generale e dell'aglio in particolare;

- il LAI e l'intercettazione % della PAR non sono stati significativamente influenzati dalla concimazione azotata; in media il LAI_{max} è stato pari a 0,47, con una intercettazione della PAR di circa il 21% e un coefficiente medio di estinzione della luce, k , di 0,47; questi risultati spingono a considerare che nelle tradizionali densità di impianto non si ha uno sfruttamento efficiente della radiazione solare e con siffatta struttura dell'apparato fogliare e scarsa reattività alla disponibilità di azoto, solo un aumento della densità d'impianto e una diminuzione della spaziatura tra le file possa portare a significativi aumenti della crescita e della produzione;

- anche i diversi indici di crescita non sono stati influenzati significativamente dalla dose di azoto; lo *Specific Leaf Area* (SLA) è variato poco durante il ciclo colturale facendo registrare un valore medio di 82 cm² g⁻¹, mentre il *Leaf Area Ratio* (LAR) è diminuito esponenzialmente nel tempo da circa 3,6 m² foglie kg⁻¹ pianta (a 162 GDI) a circa 1 m² foglie kg⁻¹ pianta (a 233 GDI);

- la bulbificazione, che ha avuto inizio a 190 GDI, ha determinato, come atteso, un forte richiamo di fotosintati a scapito della parte fogliare; la concimazione azotata non ha comunque modificato il pattern di crescita per cui in media, alla raccolta, il bulbo ha rappresentato circa l'84% della sostanza secca cumulata e la parte epigea (lamine fogliari + falso stelo) il restante 16%;

- il *Crop Growth Rate* (CGR) medio della fase lineare di crescita è stato di circa 8 g m⁻² d⁻¹;

- l'assorbimento dell'azoto durante il ciclo colturale ha avuto un andamento simile all'accumulo della sostanza secca, con un incremento dovuto alla concimazione rispetto al controllo non concimato; gli assorbimenti massimi (81 kg N ha⁻¹, in media) sono stati registrati con le dosi di 100 e 200 kg ha⁻¹ di azoto; nella fase lineare di crescita della coltura, si è registrato un tasso di assorbimento di azoto (*Nitrogen Uptake Rate*, NUR) pari a 2 kg N ha⁻¹ d⁻¹;

- 
- i tassi di crescita relativi (*Relative Growth Rate*, RGR, $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$) sono risultati linearmente e positivamente correlati con la % di N delle lamine fogliari;
 - il prelievo apparente relativo (*Apparent Recovery*, REC) della azoto apportato con la concimazione è risultato molto basso (0,15 con la dose di 100 kg N ha^{-1} e 0,09 con la dose di 200 kg N ha^{-1}), confermando la limitata efficienza di assorbimento dell'azoto, da parte delle specie orticole appartenenti alla famiglia delle *Liliaceae* e l'importanza in questo contesto di tecniche di concimazione localizzata (concimazione starter, concimazione a bande, fertirrigazione, utilizzo di formulati azotati a rilascio controllato);
 - la produzione commerciale di bulbi (bulbo + 15 cm circa di falso stelo con un'umidità media di circa il 72%) si è attestata, come media delle dosi di concimazione, su 12,9 t ha^{-1} , con un peso medio del bulbo di 262 g e un diametro medio di 99 mm; con un prezzo medio del prodotto "tal quale", definito per la vendita all'ingrosso, alla raccolta, di circa 15 € kg^{-1} , considerando una quantità di bulbilli da reimpianto per l'anno successivo di circa 2 t ha^{-1} , la PLV si attesterebbe circa a 160.000 € ha^{-1} ;
 - stanti le condizioni pedo - climatiche in cui è stata operata la prova, la dose di concimazione consigliata è pari a 100 kg N ha^{-1} tenendo conto degli effetti su crescita e produzione.

BIBLIOGRAFIA

- Abou El-Magd, M.M., Zaki, M.F., Faten, S., Abd El-Al and Abd El-Samad, E.H., 2013. Growth Analysis and Chemical Constituents of Garlic Plants in Relation to Morphological Growth Stages. *Journal of Applied Sciences Research* 9, 1170-1180.
- Agostini, F., Tei F., Silgram M., Farneselli M., Benincasa P., Aller, M.F., 2010. Decreasing nitrate leaching in vegetable crops through improvements in N fertiliser management. In: E. Lichtfouse (ed.), *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews* 4, 54 pagg.
- Agren, G.I., 1985. Theory for growth of plants derived from the nitrogen productivity concept. *Physiol. Plantarum* 64, 17–28.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Irrigation and drainage FAO paper 56 - Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO, 326 pagg.
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ* 74, 19–31.
- APG III, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105–121.
- ARSIA, 2006. Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo – Forestale. La tutela e la valorizzazione del patrimonio di razze e varietà locali in Toscana. *Conservation of and Adding of Value to the Patrimony of Local Breeds and Varieties in Tuscany*, 9 – 11.
- Asfaw, Z., 2000. The barleys of Ethiopia. In: Brush SB (ed) *Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity*. IPGRI, Roma, 77–107.
- Baroni E., 1997. Guida botanica d'Italia. Ed. Cappelli, Padova, 420 – 435.
- Benincasa, P., Guiducci, M., Tei, F., 2011. The nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation - case studies on three vegetable crops in Central Italy. *HortTechnology* 21, 266–273.
- Berghoef, J., Zevenbergen, A.P., 1992. Effects of environmental conditions on flower initiation and development of *Allium sphaerocephalon* L. *Acta Hort.* 325, 91-96.
- Bilz, M., Kell, S.P., Maxted, N., Lansdown, R.V., 2011. *European Red List of Vascular Plants*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Brush, S.B., 1992. Ethnoecology, biodiversity and modernization in Andean potato agriculture. *J Ethnobiol* 12, 161–185.
- Brush, S.B., 1995. In situ conservation of landraces in centers of crop diversity. *Crop Sci* 35, 346–354.
- Caloin, M., Yu, O., 1984. Analysis of the time course of change in nitrogen content

- in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. *Annals of Botany* 54, 69–76.
- Camacho Villa, T.C., Maxted, N., Scholten, M.A., Ford-Lloyd, B.V., 2005. Defining and identifying crop landraces. *Plant Genet Res* 3, 373–384.
- Cameira, M.R., Mota, M., 2017. Nitrogen related diffuse pollution from horticulture production - mitigation practices and assessment strategies. *Horticulturae* 3, 25.
- Caproni, L., Raggi, L., Ceccarelli, S., Negri, V., Carboni, A., 2019. In-depth characterisation of common bean diversity discloses its breeding potential for sustainable agriculture. *Sustainability* 11, 5443.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., MacE, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., *et al.*, 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67.
- Carvalho, L.G., Veldtman, R., Shenkute, A.G., Tesfay, G.B., Pirk, C.W.W., Donaldson, J.S., Nicolson, S.W., 2011. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. *Ecol. Lett.* 14, 251–259.
- Ceccarelli, S., 2019. Nurturing diversity in our guts and on our farms to reduce health risks and increase food system resilience. In *Bioversity International, Agrobiodiversity Index Report 2019: Risk and Resilience*; Bioversity International: Rome, 107–113.
- Charles-Edwards, D.A., 1982. *Physiological Determinants of Crop Growth*. Academic Press, London.
- Chase M.W., Reveal, J.L., Fay, M.F., 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagus-like families *Amaryllidaceae*, *Asparagaceae* and *Xanthorrhoeaceae*. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 132–136.
- Chen, R., Zhu, Y., Cao, W., Tang, L., 2021. A bibliometric analysis of research on plant critical dilution curve conducted between 1985 and 2019. *European Journal of Agronomy* 123, 126 - 199.
- Cheremushkina, V.A., 1992. Evolution of life form of species in the subgenus *Rhizirideum* (Koch) Wendelbo, genus *Allium* L. p. 27-34. In: In: P. Hanelt, K. Hammer, and H. Knupffer (eds.), *The genus Allium - taxonomic problems and genetic resources*. Proc. Int. Symp. June 11-13, Gatersleben, Germany.
- Citterio C., Guastaldi A., 2019. *Quattro passi in Valdichiana, nella terra dell'Aglione*. Edizione Lui.
- Cocomazzi, F.L., 2008. *L'alimentazione degli Etruschi*. Aa. Vv., *Moderne riflessioni su antiche questioni*. Milano.
- Congreves, K.A., Van Eerd, L.L., 2015. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 102, 299–318.
- Conti, F., Abbate, G., Alessandrini, A., Blasi, C., 2005. *An Annotated Check-List of the Italian Vascular Flora*. Palombi Editore, Roma.
- Conversa, G., Elia, A., 2019. Growth, critical N concentration and crop N demand

- in butterhead and crisphead lettuce grown under Mediterranean conditions. *Agronomy* 9, 681.
- Conversa, G., Lazzizzera, C., Bonasia, A., Elia, A., 2019. Growth, N uptake and N critical dilution curve in broccoli cultivars grown under Mediterranean conditions. *Sci.Hortic.* 244, 109–121.
- De Hertogh, A.A., Zimmer, K., 1993. *Allium* - ornamental species. p.187-200. In: A.A. De Hertogh and M. Le Nard (eds.) *The physiology of flower bulbs*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- De La Cruz Medina J., García H.S., 2007. Garlic: Post-harvest Operations. Danilo Mejía, PhD - Agricultural and Food Engineering Technologies Service (AGST), FAO.
- Deepu M., Forer, Y., Rabinowitch, H.D., Kamenetsky, R., 2011. Effect of long photoperiod on the reproductive and bulbing processes in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes, *Environmental and Experimental Botany* 71, 166-173.
- Di Gioia, F., Gonnella, M., Buono, V., Ayala, O., Santamaria, P., 2017. Agronomic, physiological and quality response of romaine and red oak-leaf lettuce to nitrogen input. *Ital. J. Agron.* 12, 47–58.
- Disciplinare di produzione integrata dell’aglione della Valdichiana, (Rev. 00 del 08/06/2017).
- Dubouzet J.G., Shinoda, K., 1999. Relationships among Old and New World *Alliums* according to ITS DNA sequence analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 98, 422–433.
- FAO, 2019 The State of the World’s Biodiversity for Food and Agriculture. In: Bélanger J, Pilling D (eds) *FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments*. FAO, Rome.
- Fay, M.F., Chase, M.W., 1996. Resurrection of *Themidaceae* for the *Brodiaea* alliance, and recircumscription of *Amaryllidaceae*, *Amaryllidaceae* and *Agapanthoideae*. *Taxon* 45, 441–451.
- Feller, C., Fink, M., 2002. N_{min} target values for field vegetables. *Acta Hort* 571, 195–201.
- Figliuolo, G., Candido, V., Logozzo, G., Miccolis, V., Spagnoletti Zeuli, P.L., 2001. Genetic evaluation of cultivated garlic germplasm (*Allium sativum* L. and *A. ampeloprasum* L.). *Euphytica* 121, 325–334.
- Figliuolo, G., Di Stefano, D., 2007. Is single bulb garlic *Allium sativum* or *Allium ampeloprasum*? *Sci Hort* 114, 243-249.
- Finocchi, M., 2018. Aglione della Valdichiana. Storia, caratteristiche botaniche e coltivazione. Tesi di laurea triennale, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi di Perugia, 81 pagg.
- Fox, R.H., Walthall, C.L., 2008. Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. In *Nitrogen in Agricultural Systems*, *Agronomy Monograph No. 49*; Schepers, J.S., Raun, W.R., Eds.; American Society of Agronomy, Crop

- Science Society of America, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 647–674.
- Fritsch, R.M., Friesen, N., 2002. Evolution, domestication and taxonomy. In: Rabinowitch HD, Currah L. eds. *Allium* crop science: recent advances. Wallingford, UK: CABI Publishing, 5–30.
- Gallardo, M., Elia, A., Thompson, R.B., 2020. Decision support systems and models for aiding irrigation and nutrient management of vegetable crops. *Agricultural Water Management* 240, 106209
- Gepts, P., 2006. Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Sci* 46:2278–2292.
- Giller, K.E.; Beare, M.H.; Izac, A.N.; Swift, M.J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6, 3–16.
- Gianquinto, G., Orsini, F., Fecondini, M., Mezzetti, M., Sambo, P., Bona, S, 2011. A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. *Eur. J. Agron.* 35, 135–143.
- Giller, K.E., Beare, M.H., Izac, A.N., Swift, M.J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6, 3–16.
- Giménez, C., Stöckle, C.O., Suárez-Reyc, E.M., Gallardo, M., 2016. Crop yields and N losses tradeoffs in a garlic–wheat rotation in southern Spain. *Europ. J. Agronomy* 73, 160–169.
- Giulierini, P., 2006. Il cibo in Etruria: produzione e consumo. *Cibi e sapori nel mondo antico*, Firenze 79-92.
- Goudriaan, J., Monteith, J.L., 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany* 66, 695–701.
- Greenwood, D.J., Kubo, K., Burns I.G., Draycott, A., 1989. Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35, 367–381.
- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., Neeteson, J.J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425–436.
- Greenwood, D.J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., Neeteson, J.J., 1991. Growth rate and %N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67, 181-190.
- Greenwood, D.J., Rahn, C., Draycott, A., Vaidyanatha, L.V., Paterson, C., 1996. Modelling and measurement of the effects of fertilizer-N and crop residue incorporation on N-dynamics in vegetable cropping. *Soil Use Manage.* 12, 13–24.
- Guenauoui, C., Mang, S., Figliuolo, G., Neffati, M., 2012. Diversity in *Allium ampeloprasum*: from small and wild to large and cultivated. *Genet Resour Crop Evol* 60, 97-114
- Guiducci, M., Cortona, R., 1987. Sensore lineare per la misura della radiazione

- fotosinteticamente attiva (P.A.R.) all'interno delle colture. *Rivista di Agronomia* 3, 229-234.
- Hammer, K., 1984. The domestication syndrome. *Genetic Resources and Crop Evolution* 32, 11 – 34.
- Hanelt, P., 1990. Taxonomy, evolution and history. p. 1-26. In: H. D. Rabinowitch and Brewster, J. L. (eds.) *Onions and allied crops*, Vol. I. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hanelt, P., Schulze-Motel, J., Fritsch, R.M., *et al.*, 1992. Infrageneric grouping of *Allium*— the Gatersleben approach. In: Hanelt, P., Hammer, K., Knupffer, H. eds. *The genus Allium: taxonomic problems and genetic resources. Proceedings of an international symposium held at Gatersleben, Germany, 11–13 June 1991.* Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben, Germany, 107–123.
- Harlan, J.R., 1992 *Crops and man*. American Society of Agronomy, Inc, Madison.
- Harlan, J.R., 1995. Agricultural origins and crop domestication in the Mediterranean region. *Diversity* 11, 14–16.
- Harlan, J.R., de Wet, J.M.J., 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20, 509 – 517.
- Hatfield, J.L., Gitelson, A.A., Schepers, J.S., Walthall, C.L., 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agron. J.* 100, 117–131.
- Heywood, V. 1998. The Mediterranean region. A major centre of plant diversity. In: Heywood V.H., Skoula M. (Eds.). *Wild food and non-food plants: information networking. Proceedings of the II MEDUSA Regional Workshop (1-3 may 1997, Port El-Kantaoui, Tunisia).* Cahiers CIHEAM, Options Méditerranéennes 38, 5–15.
- Heywood, V., 2009. Introduction: perspectives for economically important wild species and neglected crops in the Mediterranean. *Boccone* 23, 107–114.
- Heywood, V., Skoula, M. (Eds), 1997. Identification of Wild Food and Non-Food Plants of the Mediterranean Region. *Cahiers Options Méditerranéennes* 23, 89–110.
- Heywood, V., Skoula, M., 1999. The MEDUSA Network: Conservation and sustainable use of wild plants of the Mediterranean region. In: Janick, J. (Ed.), *Perspectives on new crops and new uses*, pp. 148-151. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Hopkins, W.G., Hüner, P.A.N., 2008. *Fisiologia vegetale*. The McGraw – Hill Companies, Milano, 393 – 416.
- Hunt, R., 1990. *Basic Growth Analysis*, Umwin Hyman Ltd, pp. 112.
- Kamenetsky, R., 1996. Life cycle and morphological features of *Allium* L. species in connection with geographical distribution. *Boccone* 5, 251-257.
- Kamenetsky, R., Rabinowitch, H.D., 2002. Florogenesis. p 31-57. In: H.D. Rabinowitch and L. Currah (eds.). *Allium crop sciences: recent advances*,

- CAB Int., Wallingford, UK.
- Kamenetsky, R., Shafir, I.L., Zemah, H., Barzilay, M., Rabinowitch, H.D., 2004a. Environmental control of garlic growth and florogenesis. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 129, 144–151.
- Knipling, E.B., 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sens. Environ 1, 155–159.
- Kristensen, H.L., Stavridou, E., 2017. Deep root growth and nitrogen uptake by rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) as affected by nitrogen fertilizer, plant density and leaf harvesting on a coarse sandy soil. Soil Use Manage. 33, 62–71.
- Le Bot, J., Adamowicz, S., Robin, P., 1998. Modelling plant nutrition of horticultural cops: a review. Scientia Horticulturae 74, 47-82.
- Lemaire, G., 2008. Diagnostic tool (s) for plant and crop N status. In vegetative stage. Theory and practice for crop N management. Eur J Agron 28, 614–624.
- Lemaire, G., Gastal, F., Cruz, P., Greenwood, D.J., Draycott, A., 1990. Relationships between plant-N, plant mass and relative growth rate for C₃ and C₄ crops. Proc 1st ESA Congress, Paris, 1 - 05.
- Lemaire, G., Gastal, F., 1997. N Uptake and Distribution in Plant Canopies. In: Lemaire, G. (Ed.), Diagnosis of nitrogen status in crops. Springer, Berlin, Heidelberg, 3–43.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M., Gastal, F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage Theory and practices for crop N management. Europ. J. Agronomy 28, 614–624.
- Lemeur, R., Blad, B.L., 1974. A critical review of light models for estimating the shortwave radiation regime of plant canopies. Agricultural Meteorology 14, 255–286.
- Li, Q.Q., Zhou, S.D., He, X.J., YuY., Zhang, Y.C., Wei, X.Q. 2010. Phylogeny and biogeography of *Allium* (*Amaryllidaceae: Allieae*) based on nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast rps16 sequences, focusing on the inclusion of species endemic to China. Annals of Botany 106, 709–733.
- Lorenzetti, F., Ceccarelli, S., Rosellini, D., Veronesi, F., 2015. Genetica agraria – Genetica e Biotecnologie per l’agricoltura. Quarta edizione, Patron editore, Bologna, 363.
- Lotti, G., 1985. La nutrizione azotata delle piante. In: Principi di Chimica e Biochimica Vegetale, ETS editrice, Pisa, vol. II, cap. 19, 151-205.
- Maass, H.I., Klaas, M., 1995. Intraspecific differentiation of garlic (*Allium sativum* L.) by isozyme and RAPD markers. Theor.Appl.Gen. 91, 89-97.
- Magnifico, V., 1987. La fertilizzazione delle colture orticole in funzione dei ritmi di accrescimento e di asportazione dei principali elementi nutritivi. Colture

- protette 3, 71 – 79.
- McCollum, G.D., 1987. Onion and allies. In: Simmonds NW (ed) Evolution of Crop Plants. Longman, England, 186-190.
- Mes, T.H.M., Friesen, N., Fritsch, R.M., Klaas, M., Bachmann, K., 1997. Criteria for sampling in *Allium* based on chloroplast DNA PCR-RFLPs. Syst. Bot. 22, 701-712.
- Mes, T.H.M., Fritsch, R.M., Pollner, S., Bachmann, K., 1999. Evolution of the chloroplast genome and polymorphic ITS regions in *Allium* subg. *Melanocrommyum*. Genome 42, 37-247.
- Negri, V., 2003. Landraces in central Italy: where and why they are conserved and perspectives for their on farm conservation. Genet Resour Crop Evol 50, 871–885.
- Negri, V., 2005 Agro-biodiversity conservation in Europe: ethical issues. J Agric Environ Ethics 18, 3–25.
- Negri, V., Pacicco, L., Bodesmo, M., Torricelli, R., 2013. The first Italian inventory of in situ maintained landraces. On CD ROM. ISBN 978-88-6074-279-7. Morlacchi Editrice, Perugia.
- Negri, V., 2018: Slide e appunti del corso di Conservazione e gestione della biodiversità. Università degli studi di Perugia, Dipartimento di Scienze Agrarie Alimentari e Ambientali, corso di Laurea magistrale: Sviluppo rurale sostenibile; curriculum scientifico: Agricoltura sostenibile.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., *et al.*, 2009. Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute, Washington.
- Newton, A.C., Begg, G.S., Swanston, J.S., 2009. Deployment of diversity for enhanced crop function. Ann Appl Biol 154, 309–322.
- Padilla, F.M., Teresa Peña-Fleitas, M., Gallardo, M., Thompson, R.B., 2014. Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. Eur. J. Agron. 58, 39 – 52.
- Padilla, F.M., Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M., Thompson, R.B., 2015. Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. Ann. Appl. Biol. 166, 271 – 285.
- Padilla, F.M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, M.T., de Souza, R., Thompson, R.B., 2018. Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: a review. Sensors 18, 23 pp.
- Padilla, F.M., Farneselli, M., Gianquinto, G., Tei, F., Thompson, R.B., 2020. Monitoring nitrogen status of vegetable crops and soils for optimal nitrogen management. Agricultural Water Management 240, 106356.
- Papa, C., 1996. The “farre de Montelione”: landrace and representation. In: Paludosi, S., Hammer, K., Heller, J. (eds) Hulled wheats. Promoting the

- conservation and use of underutilized and neglected crops. Proceedings of the first international workshop on hulled wheats 21–22 July 1995, Castelvecchio Pascoli. IPGRI, Rome, 154–171.
- Papa, C., 1999. Il farro a Monteleone di Spoleto: pratiche agrarie, consuetudini giuridiche e ritualità. In: Papa C (ed) Il Farro. Saperi, usi e conservazione delle varietà locali. Quaderni del CEDRAV 1. CEDRAV, Cerreto di Spoleto, Italy, 9–26.
- Pardossi, A., Prosdocimi Gianquinto, G., Santamaria, P., Incrocci, L., 2018. Orticoltura, Principi e Pratica. Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media, Milano. 135 – 157; 341 – 353.
- Pasqua, G., Abbate, G., Forni, C. (2015). Botanica Generale e Diversità Vegetale. Ed. Piccin Nuova Libreria, Padova.
- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., Field, C.B., 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. Remote Sens. Environ. 48, 135–146.
- Piano Paesaggistico della Toscana, 2014. Ambito 15: Piana di Arezzo e Val di Chiana, 8 – 15.
- Pignatti, S., 1982. Flora botanica d'Italia, Edagricole Bologna, Vol. 3, 379 pagg.
- Polegri, L., Negri, V., 2010. Molecular markers for promoting agro-biodiversity conservation: a case study from Italy. How cowpea landraces were saved from extinction. Genet Resour Crop Evol 57, 867–880.
- QGIS, 2020. Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA.
- R Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing, ed. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raggi L., Caproni L., Negri V., 2021. Landrace added value and accessibility in Europe: what a collection of case studies tells us. Biodiversity and Conservation 30, 1031 – 1048.
- Riley, H., Vågen, I.M., 2003. Critical N-concentrations in broccoli and cauliflower, evaluated in field trials with varying levels and timing of N fertilizer. Acta Hort. 627, 241–249.
- Samborski, S.M., Tremblay, N., Fallon, E., 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. Agron. J. 101, 800–816.
- Schepers, J.S., Blackmer, T.M., Wilhelm, W.W., Resende, M., 1996. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. J. Plant Physiol. 148, 523–529.
- Schmidt, J., Beegle, D., Zhu, Q., Sripada, R., 2011. Improving in-season nitrogen recommendations for maize using an active sensor. Field Crops Res. 120, 94–101.
- Scotford, I.M., Miller, P.C.H., 2005. Applications of spectral reflectance techniques

- in northern European cereal production: A review. *Biosyst. Eng.* 90, 235–250.
- Shlevin, E., Zilberman, A., Ben-Asher, J., 2018. Theoretical determination of a critical nitrogen dilution curve based on the carrot case study. *Agr. Res.* 7, 239–244.
- Silvestrini A., 1974. Relazioni sul governo della Toscana 99, 54, in: Italia Nostra onlus, 2010. Progetto nazionale di educazione al patrimonio culturale e al paesaggio 2010.
- Skoula, M., Rakic, Z., Boretos, N., Johnson, C.B., Heywood, V.H., 2003. The MEDUSA Information System: a tool for the identification, conservation and sustainable use of Mediterranean plant diversity. *Acta Hort.* 598, 219–225.
- Skoula, M., Johnson, C.B., 2006. The identification, conservation and use of wild plants of the mediterranean region. In: Leadlay, E. and S.L. Jury (Eds.) *Taxonomy and plant conservation - The cornerstone of the conservation and the sustainable use of plants*. Cambridge University Press, Cambridge, 177–190.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jense, T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agr. Ecosyst. Environ.* 133, 247–266.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2013. *Fisiologia Vegetale* - Piccin Nuova Libreria, Padova, 1005 – 1050.
- Tei, F., Scaife, A., Aikman, D.P., 1996a. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany* 78, 633-643.
- Tei, F., Scaife, A., Aikman, D.P., 1996b. Growth of lettuce, onion, and red beet. 2. Growth modelling. *Annals of Botany* 78, 645-652.
- Tei, F., Onofri, A., Guiducci, M., 1996c. Relationship between N-concentration and growth in sweet pepper. *Proc. 4th ESA-Congress, Veldhoven – Wageningen. The Netherlands, 7-11 July 1996*, 602-603.
- Tei, F., Benincasa, P., Guiducci, M., 1999. Nitrogen fertilisation on lettuce, processing tomato and sweet pepper: yield, nitrogen uptake and the risk of nitrate leaching. *Acta Hort.* 506, 61–67.
- Tei, F., 2001. *Manuale di Corretta Prassi per la Produzione Integrata dell'Aglio*. 3°-Parco Tecnologico Agroalimentare dell'Umbria e Regione Umbria, Tipografia Tuderte, Todi (PG), 1-20.
- Tei, F., Benincasa, P., Guiducci, M., 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *Eur. J. Agron.* 18, 45–55.
- Tei, F., Benincasa, P., Guiducci, M., 2003. Critical nitrogen concentration in lettuce. *Acta Hort.* 627, 187–194.
- Tei, F., Pannacci, E., 2005. La gestione integrata della flora infestante nelle colture orticole. *Italus Hortus* 12, 45-62.
- Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P., 2017. The role of research for a sustainable

- fertilization management in vegetables: future trends and goals. In: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops*. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 1–9.
- Tei, F., Pannacci, E., 2017. Capitolo 7. Interventi sulle caratteristiche meteorologiche: apprestamenti protettivi. In: *Agronomia* (a cura di P. Ceccon, M. Fagnano, C. Grignani, M. Monti, S. Orlandini). EdiSES S.r.l. - Napoli, 231-247.
- Tei, F., Sambo, P., Zanin, G., 2018. Fertilizzazione delle colture ortive a terra. In: *Orticoltura – Principi e pratica* (a cura di A. Pardossi, G. Prosdocimi Gianquinto, P. Santamaria, L. Incrocci). EdagricoleMilano, 135-156.
- Tei, F., De Neve, S., Hann, J., Kristensen, H. L., 2020. Nitrogen management of vegetable crops. *Agricultural Water Management* 240, 106316.
- Terzaroli, N., 2015. Caratterizzazione genetica dell’Aglione della Valdichiana (*Allium ampeloprasum* L.). Tesi di Laurea triennale, Università degli studi di Perugia. Dipartimento di Scienze Agrarie Alimentari e Ambientali, 1 – 89.
- Terzaroli, N., 2018. Sviluppo di un marcatore molecolare per la tutela dell’Aglione (*A. ampeloprasum*) della Val di Chiana. Tesi di laurea magistrale, Università degli studi di Perugia. Dipartimento di Scienze Agrarie Alimentari e Ambientali. 1 – 60.
- Tesi, R., Lenzi, A., 2005. Nutrizione azotata per un’orticoltura sostenibile. *Review n. 1 – Italus Hortus* 12, 57-73.
- Thompson, R.B., Martínez-Gaitán, C., Giménez, C., Gallardo, M., Fernández, M.D., 2007. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agr. Water Manage.* 89, 261–274.
- Thompson, R.B., Tremblay, N., Fink, M., Gallardo, M., Padilla, F.M., 2017. Tools and strategies for sustainable nitrogen fertilisation of vegetable crops. In: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops*. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 11–63.
- Thompson, R.B., Incrocci, L., van Ruijven, J., Massa, D., 2020. Reducing contamination of water bodies from European vegetable production systems. *Agricultural Water Management* 240, 106258.
- Thorup-Kristensen, K., Dresbøll, D.B., Kristensen, H.L., 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. *Eur. J. Agron.* 37, 66–82.
- Thorup-Kristensen, K., Kirkegaard, J., 2016. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency: The farming systems context. *Annals of Botany* 118, 573–592.
- Tremblay, N., Scharpf, H.-C., Weier, U., Laurence, H., Owen, J., 2001. Nitrogen

- 
- Management in Field Vegetables: A Guide to Efficient Fertilization. Horticultural Research and Development Centre, Canada. Available at: <http://publications.gc.ca/collections/Collection/A42-92-2001E.pdf>.
- Tremblay, N., Scharpf, H.C., Weier, U., Laurence, H., Owen, J., 2003. Nitrogen management in field vegetables. Ed Agriculture et Agroalimentaire Canada, Cat. No. A42-92/2001E-INISBN.
- Tremori, G., Santiccioli, G., 2016. L'Aglione della Valdichiana (*Allium ampeloprasum* L. var. *holmense* Mill.). Ed. AMV studio, Cortona, 1 – 48.
- Van Raamsdonk, L.W.D, Ensink, W., van Heusden, A.W.M, Vrielink-van Ginkel, M., Kik, C., 2003. Biodiversity assessment based on cpDNA and crossability analysis in selected species of *Allium* subgenus *Rhizirideum*. Theor. Appl. Genet. 107, 1048-1058.
- Vavilov, N., 1926. L'origine delle piante coltivate, i centri di diffusione della diversità agricola.
- Vincent, H., Wiersema, J., Dobbie, S., Kell, S. P., Fielder, H., Castenada, N., Eastwood, R., Guarino, L., Maxted, N., 2013. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food.
- Wagg, C., Bender, S.F., Widmer, F., van der Heijden, M.G.A., 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. Proc. Natl. Acad. Sci 111, 5266–5270.
- Wood, D., Lenne', J.M., 1997. The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. Biodivers Conserv 6, 109–129.
- Xingjin, H., Song, G.E., Jiemei, X.U., Deyuan, H., 2000. Phylogeny of Chinese *Allium* (*Liliaceae*) using PCR-RFLP analysis. Science in China (Series C). 43, 454-463.
- Zeven, A.C., 1998. Landraces: a review of definitions and classifications. Euphytica 104, 127–139.



