



Ministero delle Politiche
Agricole e Forestali



Conferenza delle regioni
e delle province Autonome



Regione Siciliana
Assessorato Agricoltura e Foreste

La concimazione azotata degli ortaggi

Progetto Interregionale “AZORT”





Ministero delle Politiche
Agricole e Forestali



Conferenza delle regioni
e delle provincie Autonome



Regione Siciliana
Assessorato Agricoltura e Foreste

La concimazione azotata degli ortaggi

A cura di:

Luca Incrocci, Biagio Dimauro, Pietro Santamaria e Alberto Pardossi

Progetto Interregionale “AZORT”



Progetto di ricerca Interregionale, programma “Sviluppo Rurale” – Sottoprogramma
“Innovazione e Ricerca “ (Legge 23 dicembre 1999, n. 499 – Programmi Interregionali
III fase).

Progetto AZORT.- La concimazione azotata degli ortaggi

La Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Dipartimento Interventi Strutturali, in attuazione del Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali 23.12.2003 n. 25279 ha emanato, in qualità di soggetto capofila anche in nome e per conto delle Regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Marche, Molise, Puglia, Toscana, Umbria, il bando di ricerca *“La concimazione azotata degli ortaggi: sviluppo e trasferimento di metodi innovativi per aumentare l’efficienza d’uso dei fertilizzanti, ridurre l’impatto ambientale e migliorare la qualità dei prodotti”*.

Soggetto capofila:

Regione Siciliana.

Coordinatori del Progetto:

Giuseppe Spartà, Biagio Dimauro, Loredana Guarino - Regione Siciliana.

Coordinatore Scientifico:

Prof. Alberto Pardossi - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali, Università di Pisa.

Progetto grafico copertina: Salvatore Carnazza

Stampa: Barone e Bella & C. – Ragusa

Settembre 2013

ISBN 978-88-909125-0-4

Saluto dell'Assessore all'Agricoltura della Regione Siciliana

La ricerca scientifica svolge un ruolo di primaria importanza nella creazione di conoscenze e nello sviluppo di innovazioni tecniche e tecnologiche utili al successivo trasferimento di esse alle imprese agricole operanti nei territori rurali al fine anche di orientarne i percorsi produttivi durante le diverse fasi della filiera. Il ruolo dei programmi interregionali previsti dalla legge 499 del 23/12/1999 è quello di favorire la ricerca quanto più possibile rivolta alle esigenze dei singoli territori, assegnando di fatto alle Regioni un ruolo centrale nella programmazione, attuazione e coordinamento di progetti di ricerca che, pur interessando macroaree diverse, hanno interessi comuni. I progetti interregionali, ideati per attivare azioni sistemiche, di interesse territoriale e sovraregionale, hanno rappresentato una esperienza importante e significativa, di progettazione e sviluppo partecipato e condiviso tra Regioni. Il metodo seguito è evidente nella realizzazione dei progetti di innovazione e ricerca di cui questo fa parte, costruiti all'interno della Rete Interregionale per la Ricerca Agraria, Forestale, Acquacoltura e Pesca, che ha visto come modalità operativa quella della espressione dei fabbisogni territoriali, della condivisione delle scelte, del monitoraggio e della valutazione delle attività nell'ambito di un Comitato di progetto costituito dalle Regioni interessate nonché della gestione diretta da parte di una Regione capofila in nome e per conto delle altre Regioni.

Il progetto AZORT *“La concimazione azotata degli ortaggi: sviluppo e trasferimento di metodi innovativi per aumentare l'efficienza d'uso dei fertilizzanti, ridurre l'impatto ambientale e migliorare la qualità dei prodotti”* è nato come risposta alla esigenza di dare attenzione ad un problema, quello della tossicità dei nitrati, che interessa tutti i paesi europei e che ha portato la stessa U.E. a sostenere diverse iniziative scientifiche sul tema della fertilizzazione azotata degli ortaggi.

In diversi paesi europei sono stati sviluppati alcuni sistemi informativi per il supporto tecnico alla concimazione azotata degli ortaggi nelle aziende commerciali (advice system); in molti paesi non esiste un advice system e solo per alcune regioni, la Sicilia è tra queste, esistono i DPI - Disciplinari di Produzione Integrata -, nelle zone dichiarate vulnerabili in base alla direttiva nitrati esistono le indicazioni di operare secondo le buone pratiche agricole ecc.

Il progetto AZORT trova quindi il suo obiettivo primario nello sviluppo di un DSS (Sistema di Supporto alle Decisioni) per la concimazione azotata degli ortaggi, che collaudato per le colture e aree geografiche indicate dal bando possa costituire un sistema tipo da utilizzare per altre colture ortive interessate dal problema della sovralfertilizzazione azotata.

La presentazione quindi dei risultati del progetto conclude l'intera attività che si ritiene abbia pienamente conseguito l'obiettivo di dare concretezza alle esigenze e alle manifestazioni di interesse a suo tempo evidenziate dalle diverse Regioni. Oggi può quindi essere reale oggetto di una attività di diffusione e conoscenza da parte di tutte le Regioni che ne hanno condiviso l'impostazione ed il lavoro.

Dott. Dario Caltabellotta
Assessore Regionale Risorse Agricole e Alimentari

INDICE

Obiettivi e finalità del progetto AZORT.....	3
Lista degli autori	5
Capitolo 1 – Introduzione	7
1.1. La concimazione azotata degli ortaggi	7
1.2. Il regolamento n. 1258/2011	11
1.3. La Direttiva Nitrati.....	12
Bibliografia	14
Capitolo 2 – L’azoto nel terreno	15
2.1. Ciclo dell’azoto.....	15
2.2. Attività agricola e ciclo dell’azoto.....	20
Bibliografia	23
Capitolo 3 – Nutrizione azotata	25
3.1. Introduzione	25
3.2. Assorbimento dell’azoto	25
3.3. Assimilazione dell’azoto.....	28
3.4. Effetti dell’azoto produzione e qualità degli ortaggi	30
3.5. L’accumulo dei nitrati negli ortaggi	36
Bibliografia	42
Capitolo 4 – Tecniche di concimazione.....	43
4.1. Generalita’	43
4.2. Tipi di concimi.....	43
4.3. Il piano di concimazione delle colture a terra.....	56
4.4. Metodi per la stima del fabbisogno nutritivo delle colture.....	82
4.5. La gestione della fertirrigazione in serra	94
4.6. Le colture idroponiche	102
Bibliografia	107
Capitolo 5 - Finocchio	109
5.1. Introduzione.....	109
5.2. Finocchio in Abruzzo.....	111
5.3. Finocchio in Sicilia	114
Bibliografia	119
Capitolo 6 – Lattuga	121
6.1. Introduzione	121
6.2. Lattuga in Emilia-Romagna.....	125
6.3. Lattuga in Puglia.....	128
6.3. lattuga in Sicilia	133
Bibliografia	139

Capitolo 7 – Indivia, scarola e radicchio	141
7.1. Introduzione	141
7.2. Radicchio in Emilia-Romagna.....	149
7.3. Scarola in Campania	154
7.4. Indivia in Puglia.....	160
Bibliografia	162
Capitolo 8 – Ortaggi per la IV gamma	165
8.1. Introduzione	165
8.2. Aspetti tecnico-agronomici.....	168
8.3. Coltivazione idroponica	172
8.4. Prospettive future	175
8.5. Sintesi dei risultati delle prove del progetto azort	176
Bibliografia	179
Capitolo 9 – Pomodoro in serra	181
9.1. Introduzione	181
9.2. La coltura in serra di pomodoro in provincia di Ragusa.....	182
9.3. Nutrizione e concimazione azotata	190
Bibliografia	194
Capitolo 10 – Spinacio.....	195
10.1. Generalità.....	195
10.2. Nutrizione e concimazione azotata	197
10.3. Spinacio da consumo fresco in Toscana	198
10.4. Spinacio da industria in Emilia-Romagna	207
10.5. Spinacio da industria in Puglia	210
Bibliografia	216
Capitolo 11 – Zucchini.....	219
11.1. Introduzione	219
11.2 Zucchini nel lazio.....	222
Bibliografia	226
Appendice - Applicazione della Direttiva Nitrati in Italia.....	227

Obiettivi e finalità del Progetto AZORT

Un consorzio costituito da undici diversi enti di ricerca universitari (Università di Milano, Pisa, Napoli, Bari, Palermo e Catania), del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, Bari), del Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura (CRA, Roma) o di altra natura (CER; Bologna; CRPV, Cesena; LAGAM, Catania) ha elaborato una proposta progettuale (AZORT) relativa al bando per il progetto di ricerca di interesse interregionale sulla concimazione azotata degli ortaggi.

L'ente proponente è stato il Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie (confluito recentemente nel Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali) dell'Università di Pisa al quale appartiene il coordinatore scientifico di AZORT, il Prof. Alberto Pardossi, docente di Orticoltura e Floricoltura.

Il progetto ha consentito la realizzazione di una serie di prove sperimentali e/o dimostrative su alcuni sistemi orticoli (definiti come “colture orticole di notevole interesse in particolari aree geografiche”), che sono stati individuati in base a criteri socio-economici e scientifici e che sono stati realizzati in nove diverse regioni nelle quattro macroaree definite dal bando pubblicato nel 2005 dalla Regione Sicilia.

L'obiettivo principale del progetto è stato quello di utilizzare i dati, disponibili in letteratura (bianca e grigia) o raccolti soprattutto in prove sperimentali originali, relativi a ritmi di crescita e di assorbimento d'azoto delle diverse specie orticole indicate dal bando. I dati sono stati utilizzati anche per lo sviluppo di un foglio di calcolo per la redazione dei piani di concimazione delle colture ortive. Il lavoro ha compreso anche lo studio di metodi per la stima dello stato nutrizionale delle colture e della dotazione nutritiva del terreno, la verifica delle potenzialità offerte, rispetto alla concimazione tradizionale, da alcuni formulati innovativi (soprattutto concimi a lento effetto) e dalla fertirrigazione.

Ampio spazio è stato dato alle attività di divulgazione e trasferimento; questo manuale ne è un esempio.

Consorzio di ricerca

Partner	Responsabile
1. Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali, Università di Pisa (ex. Dip. Biologia Piante Agrarie), Pisa	Prof. A. Pardossi
2. Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia (ex. Dip. Produzione Vegetale), Università degli Studi di Milano, Milano	Dr. A. Ferrante
3. Consorzio Bonifica Canale Emiliano-Romagnolo (CER), Bologna	Dr. A. Battilani
4. Centro Ricerche Produzioni Vegetali (CRPV), Cesena	Dr. V. Tisselli
5. CRA, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo (RPS), Roma	Dr. S. Canali
6. Dipartimento di Agraria (ex. Dip. Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio), Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli	Prof. S. De Pascale
7. Dipartimento di Scienze agro-ambientali e territoriali (ex. Dip. Scienze delle Produzioni Vegetali), Università di Bari, Bari	Dr. P. Santamaria
8. CNR, Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari (ISPA), Bari,	Dr. M. Gonnella
9. Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (ex. Dip. Agronomia Ambientale e Territoriale), Università di Palermo, Palermo	Prof. F. D'Anna
10. Laboratorio Agrochimico Ambientale, Ente Sviluppo Agricolo, Catania	Dr. R. Di Mauro
11. Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (ex. Dip. Ortofloroarboricoltura e Tecnologie Agroalimentari), Università di Catania, Catania	Prof. C. Leonardi

Comitato di progetto

B. Dimauro (Sicilia)
 L. Guarino (Sicilia)
 L. Bonomi (Lombardia)
 G. Sarno (Emilia-Romagna)
 R. Cuzzit (Friuli V.G.)
 S. Nuvoli (Toscana)
 A. Albanesi (Marche)
 I. Stella (Umbria)
 E. Bongiovanni (Lazio)
 G. Pesapane (Campania)
 L. Trotta (Puglia),
 G. Matarazzo (Basilicata),
 M. Funaro (Calabria),
 D. Casaccia (Abruzzo)
 A. Maci (Molise).

Lista degli autori

- Adriano BATTILANI, Consorzio Bonifica Canale Emiliano-Romagnolo, Bologna,
battilani@consorziocer.it
- Alberto PARDOSSI, Università di Pisa, *alberto.pardossi@unipi.it*
- Alessandra MONCADA, Università degli Studi di Palermo,
alessandra.moncada@unipa.it
- Alessandro MICELI, Università degli Studi di Palermo, *alessandro.miceli@unipa.it*
- Antonio FERRANTE, Università degli Studi di Milano, *antonio.ferrante@unimi.it*
- Cherubino LEONARDI, Università degli Studi di Catania,
cherubino.leonardi@unict.it
- Corrado CIACCIA, CRA - RPS, Roma, *corrado.ciaccia@entecra.it*
- Daniele MASSA, CRA-VIV Pescia (Pistoia), *daniele.massa@entecra.it*
- Fabio D'ANNA, Università degli Studi di Palermo, *fabio.danna@unipa.it*
- Filippo VETRANO, Università degli Studi di Palermo, *filippo.vetrano@unipa.it*
- Francesco DI GIOIA, Università di Bari, *francesco.digioia@uniba.it*
- Francesco GIUFFRIDA, Università degli Studi di Catania,
francesco.giuffrida@unict.it
- Giulia CAMERATA SCOVAZZO, Università degli Studi di Palermo,
giulia.cameratascovazzo@unipa.it
- Giuseppe COLLA, Università della Tuscia, Viterbo, *giucolla@unitus.it*
- Luca INCROCCI, Università di Pisa, *luca.incrocci@unipi.it*
- Marco Valerio DEL GROSSO, Agronomo, Salerno, *marcovdelgrosso@gmail.com*
- Maria GONNELLA, CNR-ISPA, Bari, *maria.gonnella@ispa.cnr.it*
- Maria Teresa CARDARELLI, CRA-RPS, Roma, *mteresa.cardarelli@entecra.it*
- Pasquale DELLI PAOLI, Cooperativa Agricoltura 2000 (CIA), Venturina (LI),
cia.sr.venturina@cia.it
- Pietro SANTAMARIA, Università di Bari, *pietro.santamaria@uniba.it*
- Rosanna CAPUTO, Università di Napoli Federico II, *rosanna.caputo@unina.it*
- Stefania DE PASCALE, Università di Napoli Federico II, *depascal@unina.it*
- Stefano CANALI, CRA - RPS, Roma, *stefano.canali@entecra.it*
- Vanni TISSELLI, CRPV, Cesena, *vtisselli@crpv.it*

Capitolo 1 – INTRODUZIONE

Alberto Pardossi, Pietro Santamaria, Maria Gonnella e Daniele Massa

1.1. LA CONCIMAZIONE AZOTATA DEGLI ORTAGGI

La concimazione azotata degli ortaggi, per i livelli delle dosi di concimi azotati normalmente utilizzati (fino a diverse centinaia di kg per ettaro all'anno) e per la notevole diffusione di queste colture in tutta Italia e soprattutto in quasi tutte le regioni della rete interregionale considerata dal Progetto AZORT, ha un notevole impatto sia sull'ambiente, in relazione ai fenomeni di inquinamento delle acque superficiali e profonde (con riflessi sulla qualità delle acque potabili), sia sulla qualità dei prodotti, condizionando infatti molti parametri qualitativi estrinseci (es. colorazione verde delle foglie o tenuta post-raccolta) ed intrinseci, primo tra tutti il contenuto di nitrati, ai quali sono attribuiti effetti tossici per l'organismo umano, soprattutto in relazione alla formazione di composti cancerogeni come le nitrosammine (Box 1.1 e 1.2).

Anche se la tossicità dei nitrati contenuti negli ortaggi è stata recentemente messa in discussione, il contenuto di questi composti in alcuni ortaggi da foglia (es. lattuga, spinacio e rucola) è comunque disciplinato da specifiche norme di legge e vede, quindi, i produttori "costretti" ad utilizzare tecniche appropriate per evitare un accumulo eccessivo di nitrati nelle parti eduli degli ortaggi, almeno per evitare contestazioni da parte del mercato.



Spinacio da consumo fresco coltivato in campo in Val di Cornia (Livorno), a sinistra, e pomodoro fuori suolo in una serra a Chiesina Uzzanese (Pistoia). Sono due esempi di colture ortive con esigenze nutritive (soprattutto di azoto) molto differenti, soddisfatte con tecniche di concimazione completamente diverse: la prima è concimata quasi come le colture cerealicole, per la seconda si impiega la fertirrigazione automatizzata.

L'azoto è l'elemento nutritivo che più influenza la risposta produttiva delle colture. La deficienza di questo elemento determina la riduzione della fotosintesi e quindi della crescita e dello sviluppo, con ovvie conseguenze sulla produzione. D'altra parte, l'eccesso di N può determinare: i) lo squilibrio tra la fase vegetativa e la fase riproduttiva della coltura; ii) l'aumento sia della suscettibilità delle piante agli stress abiotici e biotici sia dei costi di produzione; iii) il peggioramento qualitativo della produzione (es. per un maggior accumulo di nitrati nelle parti eduli); iv) gravi fenomeni di inquinamento dei corpi idrici superficiali e profondi. In Europa l'inquinamento delle acque con elementi nutritivi (non sempre di origine agricola, in verità) è provocato soprattutto dall'N e dal P. Questi due elementi nutritivi possono provocare l'eutrofizzazione delle acque superficiali: i nitrati soprattutto delle acque marine costiere e i fosfati di fiumi e laghi. L'eutrofizzazione consiste in un arricchimento nutritivo degli ambienti acquatici tale da stimolare la proliferazione di alghe e piante superiori, che rendono asfittico l'ambiente e quindi impossibile la vita di pesci e anfibi. La presenza di nitrati nelle falde idriche presenta invece dei rischi sanitari legati alla produzione di acqua potabile.

Dosi di concime azotato più elevate del necessario costituiscono, inoltre, un inutile costo economico per l'agricoltore, anche se il costo dell'unità fertilizzante (UF o kg/ha) azotata è relativamente basso, e comunque poco rilevante rispetto al valore economico delle produzioni orticole. Infatti, il rapporto tra i prezzi all'origine degli ortaggi (variabili tra 50 e 3000 €/t, approssimando) e il costo dell'N assorbito dalla coltura (considerando asportazioni unitarie di 2,5 – 5,0 kg/t di prodotto ed un costo dell'N di circa 1,0 €/kg – nel caso di concimi semplici) oscilla, indicativamente, da 20-40 (ad es., pomodoro da industria) fino a 300-400 (es. pomodoro in serra). Anche considerando che l'N asportato dalle piante è spesso solo una parte (a volte solo il 50%) di quello distribuito con la concimazione, il rapporto tra il valore della produzione e il costo dell'N rimane comunque molto alto. Di conseguenza, le considerazioni di natura economica non costituiscono una leva per il miglioramento della efficienza della fertilizzazione delle colture orticole, che i produttori tendono molto spesso a sovra-concimare all'insegna del *melius abundare quam deficere*.

Dal punto di vista legislativo, sono due i provvedimenti che, in un modo o nell'altro, interessano la concimazione azotata degli ortaggi e che senza dubbio possono contribuire ad un'aumento dell'efficienza di uso dell'N:

1. il Regolamento (UE) N. 1258/2011 (revisione del precedente Reg. N. 1881/2006) della Commissione Europea, che stabilisce i limiti massimi ammissibili di nitrato in alcuni ortaggi da foglia (lattuga, rucola e spinacio) oltre che nei cosiddetti baby-food;
2. la Direttiva N. 676/91, relativa alla "Protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", nota come Direttiva Nitrati.

Box 1.1. La concimazione azotata degli ortaggi in breve

Da un esame dello stato dell'arte relativo alla concimazione azotata degli ortaggi emergono alcuni elementi ripresi dal Progetto AZORT:

- l'N è il macroelemento maggiormente richiesto dalle piante (almeno in termini molari);
- un miglioramento, su base genetica, dell'efficienza d'utilizzazione dell'N delle piante coltivate non è possibile in tempi rapidi, anche ricorrendo alle più avanzate biotecnologie; del resto, sono pochissimi i progetti di miglioramento genetico con questo obiettivo;
- le forme di N assorbite dalle piante sono quella ammoniacale (ammonio) e nitrica (nitrati); nel terreno, l'N organico e lo stesso ammonio si trasformano più o meno rapidamente (soprattutto in relazione alla temperatura) in nitrato, non trattenuto dal terreno e quindi sottoposto all'azione dilavante della pioggia e dell'irrigazione;
- un'adeguata concimazione di N è il presupposto tecnico di una produzione abbondante e, almeno in molte colture ortive da foglia, di una qualità pregiate (es. colorazione verde dello spinacio);
- il costo dell'unità fertilizzante (UF) N è relativamente basso, intorno a 1,0 €/UF e, pertanto, la concimazione di N incide assai poco sui costi di produzione di colture intensive come quelle ortive, soprattutto di quelle realizzate in serra;
- l'uso di particolari tecniche, come l'uso dei concimi a lento rilascio (CLR), la concimazione fogliare o la coltura fuori suolo (a ciclo chiuso), appaiono utili solo in certe circostanze, un rimedio estemporaneo (concimazione fogliare) oppure applicabili solo a colture di serra;
- la fertirrigazione si sta rapidamente espandendo anche alle colture di pien'aria, dopo quelle di serra, e interessa sempre di più anche colture diverse dalle solanacee e cucurbitacee;
- in Italia, la legislazione di origine comunitaria che interessa la concimazione di N degli ortaggi (es. Direttiva Nitrati; Direttiva sui nitrati in lattughe, spinaci e rucola) non trova ancora un'applicazione rigida e capillare.

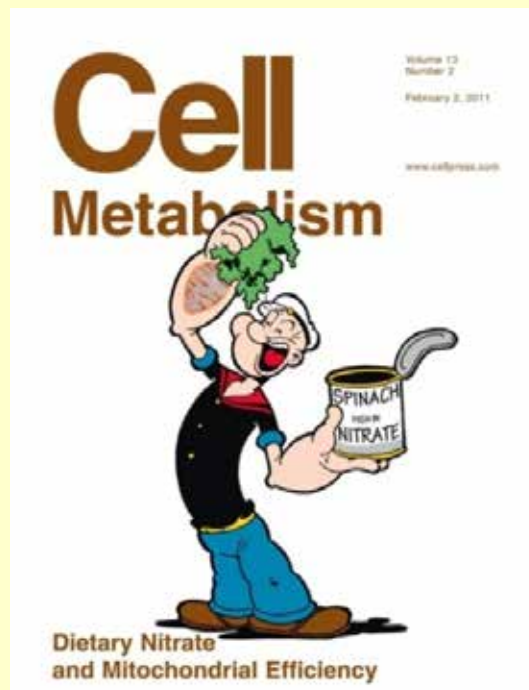
Molti di questi elementi spiegano la generale tendenza, ancora oggi, a sovraconcimare, soprattutto con l'N, le colture ortive, con le inevitabili conseguenze di natura fisiologica (consumi di lusso, accumulo di nitrati nelle parti eduli, squilibri vegeto-riproduttivi) ed ambientale (inquinamento di acque). Una conoscenza precisa dei ritmi di assorbimento di N delle piante può consentire un dosaggio preciso dell'N e una sua efficiente distribuzione in pre-impianto e soprattutto in copertura (nessuno spreco di concimi, nessun inquinamento di terreni, acque e prodotti vegetali con basso contenuto di nitrati), possibilmente attraverso la tecnica della fertirrigazione.

Box 1.2. Il mito di Braccio di Ferro

Braccio di Ferro, il più celebre dei marines americani, ha salute di ferro, morale d'acciaio e un avambraccio di bronzo grazie alle virtù alimentari degli spinaci. I disegnatori di Braccio di Ferro, Dave e Max Fleischer, nel 1933 si impadronirono di questo ortaggio, che ritenevano (erroneamente) molto ricco di ferro, trasformandolo in pozione magica per il loro eroe.

Gli spinaci sono tra gli ortaggi che hanno maggiore capacità di accumulare nitrato nelle foglie. Sotto è riportata la copertina della rivista scientifica *Cell Metabolism* che, nel febbraio del 2011, ha pubblicato un articolo sugli effetti benefici legati all'alto contenuto di nitrato negli spinaci. È noto che il consumo di frutta e verdura protegge contro la pressione alta e le malattie cardiovascolari, ma finora gli studi non sono stati in grado di collegare questo effetto a specifici nutrienti come vitamine, antiossidanti e flavonoidi. Gli ortaggi a foglia verde e la bietola da orto possono proteggere contro le malattie cardiovascolari e si ritiene che sia proprio l'alto contenuto di nitrato ad essere responsabile di questi effetti benefici.

Nel corpo umano il nitrato viene convertito in ossido nitrico (NO), che è coinvolto nel rilassamento dei vasi sanguigni (vasodilatazione) e quindi protegge contro le malattie cardiovascolari. Altri studi hanno dimostrato che NO aumenta l'efficienza respiratoria dei mitocondri dei muscoli scheletrici, con conseguente aumento dell'efficienza metabolica durante l'esercizio fisico. Si può comprendere così il lancio di bevande a base di nitrato in occasione delle ultime Olimpiadi di Londra.



Braccio di ferro sulla copertina della rivista scientifica Cell Metabolism (febbraio 2011).

1.2. IL REGOLAMENTO N. 1258/2011

Un'eccessiva ingestione di nitrati e nitriti può avere diversi effetti sulla salute: disturbi a livello intestinale; riduzione della capacità del sangue di trasportare l'ossigeno (malattia nota come metaemoglobinemia, particolarmente seria nel caso dei bambini piccoli; cancerogenicità per formazione di nitrosammine. La dose giornaliera accettabile (ADI) di nitrati, stabilita dalla Commissione Europea (C.E.), è di 0-3,7 mg/kg di peso corporeo (massimo 222 mg per una persona adulta di 60 kg). Le principali fonti di nitrati e nitriti sono, insieme all'acqua, gli ortaggi e la carne (conservata). L'assunzione di nitrato è strettamente legata alle abitudini alimentari. In Europa, l'assunzione media giornaliera pro-capite è di 155 mg, forniti per il 90% dagli ortaggi (Hambridge, 2003); in Africa, la dose ingerita è quasi 10 volte più bassa e la fonte principale è costituita dall'acqua oltre che dagli ortaggi.

Per evitare l'insorgere dei problemi sanitari legati all'assunzione dei nitrati con l'acqua potabile, la C.E. ha stabilito che le acque destinate al consumo umano non devono contenere più di 50 mg/L di nitrato (11,3 mg/L di N in forma nitrica). Dal 15 febbraio 1997 è in vigore il Regolamento della Commissione europea n. 194/97 relativo ai tenori massimi di nitrato ammissibili in alcuni ortaggi per la loro commercializzazione nei Paesi dell'U.E.. Lo scopo principale di questo Regolamento è stato quello di uniformare i limiti in vigore in alcuni Stati membri, che erano causa di difficoltà commerciali nell'U.E.. Ad esempio, prima del 15 febbraio 1997, una lattuga prodotta in estate in Italia, con contenuto di NO_3^- di 3.100 mg/kg di prodotto fresco (p.f.), non poteva essere esportata in Germania mentre veniva accettata dal Belgio (o dalla Francia). La Commissione delle Comunità Europee ha modificato più volte il Regolamento n. 194/97 (con i Regolamenti n. 864/1999, 466/2001, 563/2002, 1881/2006 e, infine, 1258/2011). La Tab. 1.1 riporta i limiti fissati dall'ultimo regolamento.

Per la prima volta, nel regolamento n. 1258/2011 sono stati previsti limiti massimi anche per la rucola. Infatti, come riportato in uno studio condotto dall'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA; European Food Safety Authority, Parma) sarebbe sufficiente il consumo di 47 g di rucola, con un contenuto medio di nitrato pari a 4.800 mg/kg p.f., per superare il valore di ADI definito dalle autorità sanitarie internazionali. Malgrado il modesto contributo alla dieta, la rucola (nel termine comune spesso si includono i due generi *Eruca* e *Diplotaxis* senza distinzione) suscita particolare attenzione, poiché può accumulare anche più di 10.000 mg/kg p.f. (es. *Diplotaxis*) di nitrato.

È bene ricordare, d'altra parte, che lo stesso studio dell'EFSA ha escluso che l'assunzione di nitrati con gli ortaggi costituisca un rischio apprezzabile per la salute umana grazie alle proprietà antiossidanti o di altro tipo degli ortaggi, che possono annullare o riequilibrare i rischi dovuti ai nitrati. Essendo improbabile che l'esposizione stimata al nitrato contenuto negli ortaggi porti a rischi significativi per la salute, prevalgono i noti effetti benefici del consumo di ortaggi. L'EFSA ha riconosciuto l'esistenza di circostanze occasionali che devono essere valutate caso per caso (condizioni sfavorevoli di produzione locale/casalinga quando gli ortaggi costituiscono una parte preponderante dell'alimentazione o nel caso di diete personalizzate ricche di ortaggi a foglia, come la rucola).

Tabella 1.1. Limiti massimi del contenuto di nitrato (NO_3^-) in alcuni alimenti di origine vegetale ai sensi del Regolamento (UE) N. 1258/2011.

Prodotto alimentare	Limite massimo (mg/kg peso fresco)	
Spinaci (<i>Spinacia oleracea</i>) freschi		3500
Spinaci in conserva, surgelati o congelati		2000
	Raccolta tra 1 ottobre e 31 marzo	
	Coltivata in serra	5000
Lattuga (<i>Lactuca sativa</i>) fresca esclusa la "Iceberg"	Coltivata in pien'aria	4000
	Raccolta tra 1 aprile e 30 settembre	
	Coltivata in serra	4000
	Coltivata in pien'aria	3000
Lattuga tipo "Iceberg"	Coltura in serra	2500
	Coltivata in pien'aria	2000
Rucola (<i>Eruca sativa</i> , <i>Diplotaxis spp.</i> , <i>Brassica tenuifolia</i> , <i>Sisymbrium tenuifolium</i>)	Raccolta tra il 1 ottobre e 31 marzo	7000
	Raccolta tra il 1 aprile e 30 settembre	6000
Alimenti a base di cereali ed altri alimenti destinati a bambini e lattanti		200

Il rispetto dei limiti fissati dal Regolamento rimane comunque un obbligo per i produttori, se non altro per essere spinti ad adottare le buone pratiche agricole (GAP, Good Agricultural Practices) e per non andare incontro a sequestri da parte delle autorità sanitarie o a mancati ritiri da parte dei grossisti e della GDO. In alcuni casi, i livelli massimi di nitrato vengono superati nonostante l'adozione delle GAP; per immettere sul mercato taluni ortaggi a foglia, coltivati e destinati al consumo nei rispettivi territori, ad alcuni Stati membri dell'UE è stata perciò concessa una deroga temporanea quando il tenore di nitrato risulti superiore a quello massimo fissato.

1.3. LA DIRETTIVA NITRATI

La Direttiva Nitrati fu emanata nel 1991 allo scopo di tutelare la salute umana gli ecosistemi acquatici e terrestri e salvaguardare gli usi legittimi dell'acqua. Secondo la Direttiva, per ridurre l'inquinamento delle acque causato, direttamente o indirettamente, dai nitrati di origine agricola, sono necessari specifici provvedimenti riguardanti l'uso dei concimi azotati e, più in generale, la gestione delle colture e degli allevamenti. Con la

Direttiva Nitrati la C.E. ha inteso incoraggiare l'adozione delle buone pratiche agricole e ha chiesto agli Stati membri di individuare le zone vulnerabili ai nitrati e attuare i necessari Programmi d'azione per ridurre l'inquinamento idrico provocato da composti azotati in quelle zone, limitare l'impiego dei fertilizzanti azotati e dei concimi organici animali.

La Direttiva Nitrati considera inquinate dai nitrati:

1) le acque dolci superficiali o sotterranee, in particolare quelle destinate alla produzione di acqua potabile, che contengono o possono contenere, se non si applicano idonei programmi d'azione, una concentrazione di nitrati superiore a 50 mg/L;

2) i laghi naturali di acqua dolce o altre acque dolci, estuari, acque costiere e marine che risultano eutrofiche o possono diventarlo nell'immediato futuro se non si interviene con idonee misure preventive. Le aree geografiche che scaricano nitrati nelle acque così individuate e che concorrono al loro inquinamento sono definite, appunto, come "zone vulnerabili".

Ogni Stato membro doveva identificare le zone vulnerabili entro sei mesi dall'emanazione della Direttiva e riesaminare le designazioni di queste zone almeno ogni quattro anni, in modo da considerare i possibili cambiamenti e l'insorgere di fattori non previsti al momento della prima designazione. Per consentire un livello generale di protezione dall'inquinamento per tutti i tipi di acque, la Direttiva Nitrati ha imposto agli Stati membri di provvedere, entro due anni dalla notifica della Direttiva, a fissare uno o più codici di buona pratica agricola (GAP), applicabili a discrezione degli agricoltori e riguardanti, tra l'altro, la distribuzione dei fertilizzanti e dei reflui di allevamento, la gestione dell'uso del terreno e la predisposizione di un piano di fertilizzazione per ciascuna azienda.

La Direttiva Nitrati ha anche previsto la definizione delle tecniche agronomiche da applicare in ciascuna zona vulnerabile e la redazione di specifici Programmi/Piani di azione, che comprendono le misure che gli Stati membri hanno inserito nei codici GAP. Tra queste ci sono, ad esempio, i periodi in cui è proibita l'applicazione di determinati tipi di fertilizzanti e i limiti alle dosi di fertilizzanti distribuite alle colture. Questi ultimi devono essere stabiliti in modo conforme alle GAP e in funzione delle caratteristiche pedo-climatiche e della prassi agricola della zona vulnerabile d'interesse (in pratica, viene richiesto di elaborare un piano di concimazione).

Molte nazioni hanno adottato in ritardo le misure previste dalla Direttiva Nitrati. L'Italia, ad esempio, ha recepito la Direttiva Nitrati l'11 maggio 1999 con il Decreto Legislativo (D.L.) n. 152 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole". Il D.L. è stato aggiornato nel 2000 (D.L. n. 258) estendendo le disposizioni della Direttiva Nitrati a tutti i tipi di acqua e di inquinamento, e quindi nel 2006 (D.L. 52/06). In base alla Direttiva Nitrati, il governo italiano ha elaborato il manuale di buona pratica agricola (Decreto Ministeriale 19 aprile 1999) e ha delegato alle Regioni la designazione delle zone vulnerabili ai nitrati e la predisposizione dei Programmi d'azione.

Per la legislazione italiana le zone vulnerabili ai nitrati (ZVN) sono “le zone di territorio che scaricano direttamente o indirettamente composti azotati in acque già inquinate (concentrazione di nitrati superiore a 50 mg/L) o che potrebbero esserlo in conseguenza di tali scarichi”. Almeno ogni quattro anni le Regioni rivedono o completano le designazioni delle zone vulnerabili per tener conto dei cambiamenti e dei fattori non previsti al momento della precedente designazione. Nelle zone vulnerabili devono essere attuati i Programmi d’azione e le prescrizioni previste dal codice di buona pratica agricola.

La Tab. 1.2 riporta alcune misure riguardanti la fertilizzazione mentre alcune informazioni riguardo all’applicazione della Direttiva Nitrati nelle regioni italiane sono nell’Appendice 1.

Tabella 1.2. Sintesi delle principali misure agronomiche indicate nei Programmi di Azione nelle zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola.

-
- Identificazione dei periodi in cui l'applicazione di fertilizzanti non è opportuna o proibita.
 - Predisposizione di piani di fertilizzazione e la tenuta di registri sulle applicazioni di fertilizzanti.
 - Rispetto del limite d'uso massimo di N proveniente dall'effluente di allevamento (170 kg N/ha/anno).
 - Limiti all’applicazione di fertilizzante al terreno: in pendenza ripida; saturo d'acqua, inondato, gelato o innevato; adiacente ai corsi d'acqua.
 - Gestione dell'uso del terreno, compreso l'uso dei sistemi di rotazione delle colture e il mantenimento di un quantitativo minimo di copertura vegetale.
 - Istruzioni per l’irrigazione e la fertirrigazione allo scopo di prevenire l’inquinamento delle acque dovuto allo scorrimento e alla percolazione dell'acqua oltre le radici nelle colture irrigue.
-

BIBLIOGRAFIA

- EFSA, 2008. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. The EFSA Journal 689, 1-79. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/689.htm>
- Hambrige, T. 2003. Nitrate and nitrite. WHO Food Additives Series, 50. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je07.htm>
- Masoni, A. (ed.), 2010. Riduzione dell’Inquinamento delle Acque dai Nitrati Provenienti dall’Agricoltura. Felici Editore, Pisa. http://risorseidriche.arsia.toscana.it/_pagebase.asp?p=1573.

Capitolo 2 – L’AZOTO NEL TERRENO

Corrado Ciaccia e Stefano Canali

2.1. CICLO DELL’AZOTO

L’azoto è un elemento cardine della nutrizione vegetale e conseguentemente uno dei principali fattori influenzanti la fertilità di un suolo e le connesse produzioni vegetali. Al pari di qualsiasi altro elemento, l’N va incontro a continui processi di trasformazioni, di fissazione, di organicazione e di mineralizzazione, che ne permettono il passaggio dal suolo (litosfera) ai comparti dell’atmosfera, dell’idrosfera nonché della biosfera, secondo quello che è noto come “ciclo biogeochimico dell’N” (Fig. 2.1). Conoscerne i passaggi permette di comprenderne i possibili ingressi e le possibili uscite, non sempre caratterizzati da una precisa e prevedibile relazione, offrendo un importante punto di riferimento per impostare, nella teoria, un bilancio dell’elemento e, nella pratica, un piano di concimazione/gestione della fertilità.

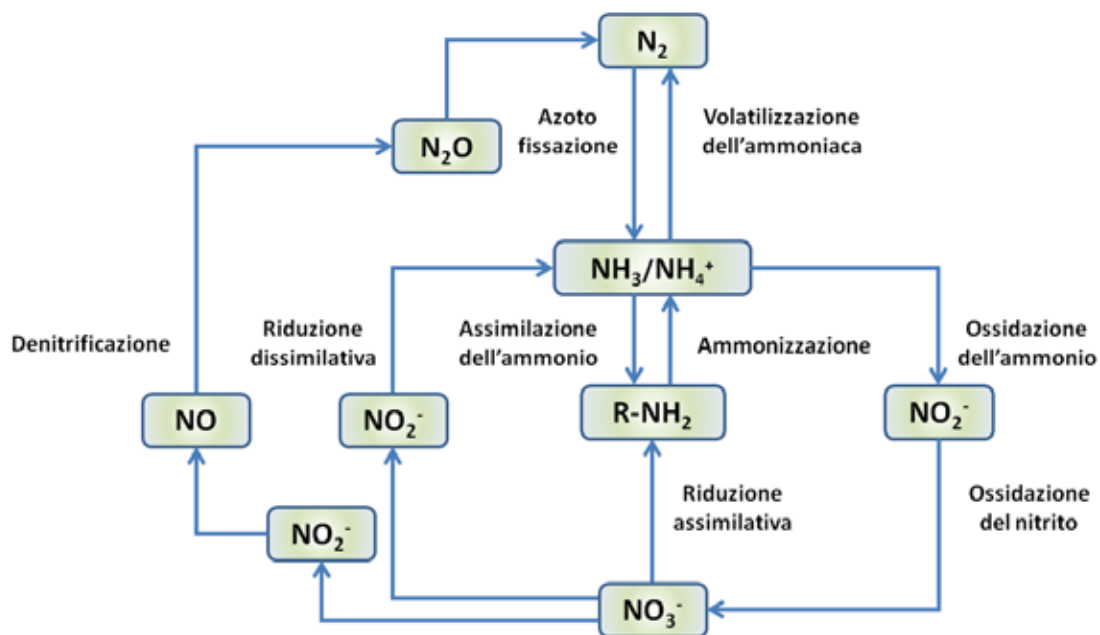


Figura 2.1. Ciclo dell’azoto.

Il ciclo biologico dell’N è una sequenza complessa di trasformazioni chimiche che coinvolgono l’N in composti organici e inorganici. Comprende un grande ciclo che si svolge tra l’atmosfera e il mondo vivente con, all’interno, un piccolo ciclo che si svolge tra piante,

animali e batteri (riciclaggio). Il ciclo è regolato da complesse interrelazioni tra le asportazioni dell'N disponibile nel suolo da parte delle piante e gli altri organismi viventi, lo spostamento dell'elemento dai residui (vegetali e non) alla sostanza organica del suolo e la conversione dell'N a ione ammonio (NH_4^+) da parte di microorganismi del suolo. La fissazione dell'N atmosferico e la "deposizione" dell'N al suolo compensano le perdite dell'elemento per lisciviazione, erosione, volatilizzazione dell'ammoniaca gassosa, denitrificazione, ecc..

Gli scambi con l'atmosfera: fissazione atmosferica e fissazione biologica

L'atmosfera essendo composta per il 78% di N in forma gassosa (N_2 , un gas inerte) presenta un contenuto quasi mille volte superiore per ordine di grandezza rispetto a quello presente nella biosfera. L'ingresso dell'N nel comparto biotico è molto lento: le piante lo possono utilizzare solo dopo che i processi di fissazione naturale lo hanno reso disponibile sotto forma di ioni ammonio o nitrato. Per fissazione si intende qualsiasi processo chimico (biologico e non) in cui l'N viene trasformato dalla forma molecolare atmosferica alla forma ammoniacale o di ossido di N. L'energia richiesta per questo processo può essere fornita dalla radiazione solare o dai fulmini (per cui si parla di fissazione atmosferica e deposizione) o dall'attività di microrganismi noti come azotofissatori (fissazione biologica) oppure artificialmente (fissazione industriale) con la riduzione dell'N dalla forma molecolare alla forma ammoniacale (processo Haber-Bosch) e la produzione di concimi di sintesi.

Nonostante la grande disponibilità in atmosfera il fenomeno della deposizione (la precipitazione al suolo dell'N atmosferico nelle forme inorganiche) è annualmente molto basso e non significativo se relazionato alla produzione vegetale.

Al contrario il fenomeno della fissazione biologica è di primaria importanza in termini di trasferimento della risorsa azotata dall'atmosfera al suolo ed è caratterizzato dal passaggio della forma gassosa (N_2) nella sola forma ammoniacale (NH_3). Gli azotofissatori possono essere separati in due grandi gruppi: 1) liberi nel terreno (da cui il termine di fissazione non simbiotica); 2) simbiotici dei vegetali (fissazione simbiotica). Tra gli azotofissatori i fissatori simbiotici sono i più importanti in termini di N netto fissato e in particolare i batteri Rizobi (genere *Rhizobium*), simbiotici delle leguminose, sono quelli maggiormente rilevanti in agricoltura. Altri azotofissatori simbiotici sono alcuni attinomiceti, come quelli appartenenti al genere *Frankia* (il più noto, *F. alni*, è simbiote degli alberi del genere *Alnus*, anche noti come ontani). Oltre il 90% dell'N fissato da questi microrganismi viene ceduto al vegetale con cui è stata instaurato il rapporto simbiotico.

La rilevanza della fissazione biologica varia al variare delle condizioni ambientali come la disponibilità di N nel suolo: sia i fenomeni di infezione che determinano la simbiosi sia il proliferare della fissazione non simbiotica sono stimolati da bassi livelli di N disponibile nel terreno.

Gli scambi con l'atmosfera: le perdite per denitrificazione e volatilizzazione

Gli scambi di N con l'atmosfera sono naturalmente anche in senso opposto alla precipitazione e alla fissazione dell'elemento nelle forme inorganiche e, considerando il

sistema suolo, possono essere considerate delle perdite. In questi processi sono le forme inorganiche dell'N ad andare incontro a processi di trasformazione che producono la forma gassosa (N_2) che viene rilasciata nell'atmosfera. Alcuni microrganismi, tutti batteri, come alcuni appartenenti ai generi *Pseudomonas* o *Agrobacterium*, sono responsabili di un fenomeno noto come denitrificazione che determina il passaggio dell'N da nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) a N_2 che si disperde nell'atmosfera. Si tratta di batteri prevalentemente anaerobi facoltativi, cioè che utilizzano per la loro respirazione, in condizioni anaerobiche di assenza di ossigeno libero, quello contenuto nei nitrati.



Rizobi su radici di Vicia faba minor.

Un altro tipo di perdite di N dal suolo sono quelle determinate dalla volatilizzazione dell' NH_3 particolarmente presente in suoli con alto pH o in cui si effettuano concimazioni azotate in forma ureica. Lo ione ammonio contenuto nella soluzione acquosa di un suolo (non la quota adsorbita dai colloidi del suolo) si dissocia in NH_3 e idrogeno libero (ioni H^+). L' NH_3 essendo altamente volatile può diffondere nell'atmosfera (volatilizzazione). È un processo indipendente dall'attività degli organismi viventi ma strettamente collegato alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo, alla capacità quindi del suolo di trattenere l' NH_4^+ (la capacità di scambio cationico, dipendente dalla natura e qualità dei colloidi e dal pH) e alle condizioni ambientali; temperatura e ventosità favoriscono gli scambi gassosi tra soluzione liquida e atmosfera aumentando il passaggio di ammoniaca a quest'ultima. Generalmente si tratta di piccoli quantitativi di N e, oltretutto, in condizioni di folta copertura vegetale questa perdita è ridotta dall'intercettazione dell'ammoniaca da parte delle foglie, che sono in grado di assorbire il composto.

Il ciclo dell'azoto nel suolo

I minerali contenenti N sono molto scarsi e poco diffusi nella crosta terrestre, anche se si stima che l'N atmosferico sia pari a 1/50 di quello presente nella crosta stessa; l'origine dell'elemento da questi materiali è comunque da considerarsi irrilevante. L'N nel suolo è presente sia nelle forme inorganiche di N ammoniacale (NH_3), di ione ammonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e, in minor misura, nitrito (NO_2^-) sia nella forma organica (convenzionalmente indicata come forma amminica, $-\text{NH}_2$) contenuta: negli organismi viventi; nella sostanza organica indecomposta e in via di decomposizione; nell'humus (la sostanza organica umificata). Le forme organiche in media rappresentano tra 95 e il 98 % dell'N totale presente nel terreno. Questi composti sono in continuo dinamismo e trasformazione ad opera di processi microbiologici che ne comportano la mineralizzazione e il rilascio di NH_4^+ come primo residuo (ammonificazione). La disponibilità di N inorganico del terreno (quindi il restante 2- 5%) dipende infatti in gran parte dall'andamento nel tempo dei processi di mineralizzazione e di immobilizzazione microbica, che rappresentano rispettivamente i termini di passaggio dell'N dalla forma organica a quella inorganica e viceversa. La proporzione tra i diversi processi, generalmente presenti contemporaneamente nel suolo, è conseguenza delle diverse condizioni climatiche ed edafiche (temperatura, tessitura, contenuto di umidità, rapporto C/N, ecc.) che accentuano più una via rispetto ad un'altra.

L' NH_4^+ liberato nei processi di mineralizzazione della sostanza organica viene in parte assorbito dai vegetali, in parte assorbito dalla microflora del suolo (immobilizzazione) e in parte trattenuto dai colloidi del suolo (adsorbimento da parte di argille e sostanza organica). In particolare questa quota può assumere nei suoli ricchi di fillosilicati 2:1 (minerali argillosi quali l'illite, la vermiculite e la montmorillonite) percentuali importanti della riserva potenzialmente disponibile di N, fino anche al 20-30 %. Questo per la capacità di questi minerali di intrappolare (fissare) gli ioni NH_4^+ tra gli strati stessi di cui sono composti. Questa quota di NH_4^+ è definita non scambiabile ma può essere comunque assorbita dalle piante o attraverso un'azione diretta da parte della radice di diffusione dello ione o indirettamente promuovendo, tramite il rilascio di essudati radicali, l'attività di alcuni gruppi microbici eterotrofi. Un'ulteriore parte di NH_4^+ del suolo subisce infine un doppio processo di trasformazione (noto come nitrificazione eterotrofica o più semplicemente nitrificazione) ad opera di microrganismi che lo ossidano per ricavarne energia, portando alla formazione di NO_2^- e quindi di NO_3^- . L'attività di questi microrganismi autotrofi inoltre può favorire il lento rilascio dell' NH_4^+ non scambiabile.

Il processo di nitrificazione è un fenomeno molto importante da un punto di vista agrario poiché è uno dei fattori principali influenzanti la disponibilità di NO_3^- nel terreno, rappresentante la forma chimica preferibilmente assorbita dai vegetali. L'azoto nitrico generalmente non supera l'1% del contenuto totale di un suolo e rappresenta una forma chimica assorbibile dalle piante e dagli altri esseri viventi presenti nel suolo, che lo utilizzano per le loro necessità vitali, e utile alla formazione di humus (processo di immobilizzazione microbica e umificazione), diminuendone la quantità disponibile per le colture. Lo ione nitrato è solubilissimo in acqua e, avendo carica negativa, non è trattenuto dal potere

assorbente del terreno, poiché le superfici dei minerali argillosi e della sostanza organica presentano anch'esse cariche elettronegative. Unica eccezione i terreni acidi, nei quali si ha la formazione di cariche positive su alcuni composti inorganici che possono conferire al terreno una certa capacità di adsorbimento degli ioni nitrici. Di contro, in questi terreni l'attività dei batteri nitrificatori è ridotta dall'acidità stessa determinando normalmente un accumulo di NH_4^+ . Lo ione nitrato è soggetto quindi, proprio per la sua mobilità, a fenomeni di lisciviazione che ne determinano una fuoriuscita dal sistema per dilavamento.

Il fenomeno della lisciviazione, oltre che dal quantitativo di acqua che, per precipitazioni naturali o per irrigazione, attraversa il profilo del suolo come acqua di percolazione, dipende dalle caratteristiche del suolo, in particolare dalla tessitura e dal contenuto in sostanza organica. Terreni sabbiosi e poveri in sostanza organica hanno una minore capacità di ritenzione idrica e sono soggetti a maggiori perdite per lisciviazione. Un ruolo molto importante nel fenomeno di lisciviazione, e nei rischi correlati di inquinamento della falda e di eutrofizzazione delle acque, lo giocano la dose e la tipologia di concime azotato distribuita così come l'epoca di distribuzione.

Altra fonte di sottrazione di N al sistema suolo è l'assorbimento da parte dei vegetali che avviene principalmente per mezzo dell'interazione tra l'apparato radicale e la soluzione del suolo. Fisiologicamente, le radici delle piante hanno la capacità di assorbire l'N in forma nitrica, in forma ammoniacale e in forma di molecole organiche molto semplici, come l'urea e alcuni amminoacidi. Nei vegetali l'N entra a far parte della composizione di numerosi composti, fra cui le proteine, gli enzimi, gli acidi nucleici, la clorofilla e alcune vitamine, tutti essenziali per lo svolgimento delle funzioni biologiche. L'N costituisce mediamente l'1-3% della sostanza secca dei tessuti maturi e fino al 5-6% di quella dei tessuti giovani. In queste forme ritorna al suolo con i residui vegetali dove può subire processi di mineralizzazione o di trasformazione (sempre per effetto di attività microbica) in composti più o meno stabili come i composti umici (umificazione) e quindi ricominciare il ciclo.

Immobilizzazione e mineralizzazione

I processi di immobilizzazione e di mineralizzazione sono entrambi presenti nei suoli e ne influenzano fortemente il contenuto di N disponibile per l'assorbimento vegetale. L'immobilizzazione è legata all'uso dell'N per la sintesi di composti organici mentre la mineralizzazione è il rilascio di N inorganico da composti organici a seguito della loro decomposizione. I due processi sono opera della microflora e sono strettamente interconnessi. Dal punto di vista della fertilità, eccessi di mineralizzazione si traducono in una diminuzione del contenuto di sostanza organica e in un surplus di nutrienti rilasciati in forma inorganica nel suolo rispetto ai reali fabbisogni della biosfera (rischio di perdita per lisciviazione). D'altra parte, il processo di mineralizzazione è quello che rende l'N presente nella sua forma organica in N disponibile per le piante, quindi è importante dal punto di vista della fertilità del suolo. Uno dei fattori che più influiscono la relazione tra i due processi è dato dal rapporto C/N della sostanza organica di partenza nei processi microbiologici. Materiali con rapporto C/N <20 determinano un accelerazione del processo di mineralizzazione: la popolazione

microbica dispone di un quantitativo eccedente di N rispetto alle proprie esigenze fisiologiche che viene rilasciato sotto forma di NH_4^+ nei processi di degradazione delle molecole organiche da cui ricavano energia. Nel caso di residui con $\text{C/N} > 25-30$ la disponibilità di N di questi materiali è bassa rispetto al quantitativo di sostanze fermentescibili complessivo e subisce un processo di immobilizzazione in parte nei microrganismi in parte nei residui trasformati (composti stabili più o meno umificati). Le principali caratteristiche chimico-fisiche del terreno influenzano fortemente il prevalere di un processo rispetto all'altro. Poiché la mineralizzazione è un processo aerobico il livello di areazione, e quindi l'incidenza dei macropori rispetto alla microporosità, è un fattore che la influenza positivamente. Allo stesso modo, temperature intorno ai 30°C sono quelle ottimali per l'attività dei microrganismi responsabili della mineralizzazione mentre valori più bassi favoriscono immobilizzazione e processi di umificazione. Il contenuto di umidità ha anch'esso un effetto indiretto sul rapporto tra i due processi poiché influenza sia il contenuto di ossigeno sia la temperatura del terreno.

2.2. ATTIVITA' AGRICOLA E CICLO DELL'AZOTO

L'attività agricola ha un effetto determinante sul ciclo dell'N, non solo a causa della concimazione azotata, ma anche per gli effetti che questa può più o meno avere sui processi di arricchimento e di impoverimento dell'elemento descritti nei paragrafi precedenti. Il contenuto di N totale dei terreni agrari, costituito dall'insieme delle forme organiche e inorganiche, varia ampiamente in dipendenza del loro contenuto di sostanza organica e quindi di tutte le condizioni intrinseche ed estrinseche al suolo che determinano la presenza della sostanza organica nel terreno, comprese quindi le operazioni agricole. Essere a conoscenza dei loro effetti e delle dinamiche dell'N nel suolo può essere d'ausilio per seguire una buona pratica agricola riducendo le perdite, i rischi di inquinamento e gli sprechi in termini di apporto della risorsa. Lo sviluppo di modelli di simulazione per la previsione dei processi di trasformazione dell'N offre inoltre una possibilità in questa direzione.

Gestire il ciclo dell'N

In un terreno agrario parte dell'N in esso contenuto, e precisamente quella quantità che viene assorbita dalla coltura e immagazzinata nel prodotto utile, è da considerarsi un'uscita della risorsa dal ciclo. Ciò provoca, in qualsiasi terreno coltivato, una progressiva riduzione del contenuto di N da contrastare per impedire la completa perdita di fertilità del suolo. Il ricorso alla concimazione è sicuramente il metodo più efficace per risolvere questo problema. In realtà, all'attività agricola sono connessi diversi processi che possono accentuare la perdita di N così come favorirne l'accumulo; inoltre una stessa attività può influenzare contemporaneamente più aspetti del ciclo dell'N.

Le lavorazioni del suolo hanno un effetto sul livello di areazione, e quindi di ossigenazione, di un terreno influenzando contemporaneamente sia i processi di denitrificazione, sia quelli di mineralizzazione: se da una parte la lavorazione facilita la formazione di una macroporosità riducendo gli effetti del processo anaerobio di denitrificazione, dall'altra un'eccessiva lavorazione, soprattutto se abbinata a condizioni di

temperatura elevata, determina un'accelerazione dei processi di mineralizzazione della sostanza organica e quindi un possibile eccesso di rilascio delle forme inorganiche dell'N rispetto alle esigenze delle colture, oltre che impoverire il terreno in contenuto di sostanza organica. Un obiettivo da perseguire può essere quello della sincronizzazione della mineralizzazione con la richiesta di N da parte delle piante. Monitorare e controllare con appropriate tecniche questi processi è di fondamentale importanza per ottenere delle pratiche agricole a basso impatto ambientale. Ad esempio, controllando il C/N dei residui vegetali e/o correggendo lo stesso con piccoli apporti di N minerale. Questo può essere attuato attraverso la scelta della rotazione o associando colture di copertura o intercalari alla coltura principale in modo da intercettare la risorsa in eccesso e restituendola al suolo con la pratica del sovescio. In questo modo si può ridurre anche un'altra causa di perdita di N dal sistema, quella rappresentata dalla lisciviazione.

La concimazione azotata ha il compito di assicurare una quantità di N utilizzabile, sufficiente per lo sviluppo e la produzione vegetale ma allo stesso tempo ha l'obiettivo di non impoverire né arricchire il terreno, riducendo così le perdite. Per predisporre dei piani di concimazione bisogna quindi tenere conto delle trasformazioni dell'N nel terreno che ne determinano la reale disponibilità per la pianta, al pari delle esigenze delle colture nello spazio e nel tempo. Un'importante strategia può essere quella di aumentare il fenomeno dell'immobilizzazione dell'N nei periodi in cui l'esigenza di N della coltura è molto bassa (come a inizio ciclo culturale) attraverso l'ausilio di residui ad alto C/N o comunque riducendo gli apporti di N per mezzo dei fertilizzanti. Altra strategia di concimazione prevede il frazionamento della risorsa con dosi minime nelle prime fasi di sviluppo della coltura e nei periodi con rischio di percolazione elevato, mentre si utilizzano dosi più elevate nei momenti di massima richiesta della coltura e nei periodi con minore incidenza di precipitazioni piovose. Allo stesso modo è molto importante la scelta del tipo di concime azotato a seconda delle esigenze della coltura e dell'andamento termo-pluviometrico; si deve come preferire la forma ammoniacale nei periodi umidi e la forma nitrica nei periodi secchi o in concomitanza con il massimo assorbimento da parte della coltura, oppure ricorrere a concimi a lento rilascio. Come già accennato, la scelta della rotazione può essere di grande aiuto nella gestione della fertilità azotata. In particolare il ricorso alle leguminose (da reddito o da sovescio) sono un utile strumento per aumentare la riserva azotata del terreno nella forma organica. A tal fine è diffusa la pratica di distribuire al seme, poco prima della semina, il simbionte specifico per la specie scelta, sotto forma di polvere secca.

Modellizzazione del bilancio dell'N

Negli ultimi decenni l'incremento delle ricerche mirate a definire quantitativamente le leggi biologiche che governano i sistemi naturali, unitamente con lo sviluppo della modellistica previsionale, ha permesso di realizzare dei modelli di simulazione sempre più precisi e affidabili anche in campo agronomico. Il modello parte da un'analisi del sistema (inteso come gruppo di elementi legati da una qualsiasi forma d'interazione o interdipendenza) in un tempo determinato oppure dal comportamento del sistema stesso nel

tempo, in risposta a perturbazioni che alterano l'equilibrio a cui naturalmente tende. Questa operazione, altrimenti complessa, è resa possibile dalla simulazione dei principali attributi del sistema e, quindi, del sistema stesso. Questo viene fatto per via informatica attraverso una serie di calcoli matematici, o algoritmi, che rispondono a qualsiasi perturbazione inserita dall'operatore, dando una previsione di quello che accadrebbe nella realtà se le condizioni si dovessero verificare. I modelli possono essere quindi continuamente aggiornati, aggiustando le discrepanze con la realtà dopo che l'evento è effettivamente avvenuto e ha prodotto un effetto. Sintetizzando il concetto, l'utilizzatore del modello può ipotizzare una serie di perturbazioni del sistema, verificando quale sarà la risposta del sistema reale.

I modelli di simulazione esistenti per il ciclo dell'N, come per il ciclo di altri elementi, comprendono una dettagliata descrizione dell'ambiente in termini di variabili meteorologiche e relative al suolo e rientrano infatti nella categoria dei modelli definiti di processo. Nel caso specifico del modello del ciclo dell'N per l'analisi del sistema suolo devono essere considerate le concentrazioni di NH_4^+ e NO_3^- in quanto forme disponibili per le piante, che vengono determinate e inserite come input nel modello. Questo include normalmente la modellazione dei processi di trasformazione del suolo e di trasporto dell'N nel suolo, di adsorbimento del NH_4^+ dai colloidi del suolo e l'assorbimento da parte della coltura. I processi normalmente modellati sono la mineralizzazione netta (risultante dalla differenza tra mineralizzazione e immobilizzazione), la nitrificazione, la denitrificazione e, non sempre, la volatilizzazione. Poiché tutti questi processi sono anche in funzione della temperatura, il modello che simula questi processi dovrà includere la temperatura del suolo. Il trasporto dell'N nel suolo può essere modellato moltiplicando i flussi di acqua fra strati di suolo per le concentrazioni di NH_4^+ o NO_3^- nello strato da cui si origina il flusso, considerando però il limite massimo di immagazzinamento di N per ciascuno strato. Talvolta a questi calcoli è aggiunto il movimento di N per diffusione. A completamento della mobilità dell'N i modelli prevedono anche la determinazione dell'ammonio adsorbito dalla fase solida del suolo stimando che la sua quota sia legata alla concentrazione dell' NH_4^+ tramite una relazione che prende in considerazione dei coefficienti specifici per ciascun tipo di suolo. Infine i modelli considerano il tasso di assorbimento da parte della pianta attraverso il calcolo di equazioni che tengono in considerazione le variabili climatiche, la specie coltivata (se disponibile la cultivar), le fasi fenologiche, la concentrazione di N in prossimità delle radici e il tasso traspirativo della coltura. Modelli così impostati quindi presentano una serie di input (ad es. concentrazione iniziale di N nel terreno, apporti con le fertilizzazioni, le piogge e l'irrigazione e in seguito alla mineralizzazione della sostanza organica e alla fissazione dell'N atmosferico) dai quali ricavano come output (previsioni) le perdite per volatilizzazione, denitrificazione e lisciviazione, le quote di N immobilizzata e asportata dalla coltura e infine il contenuto di N minerale nel suolo alla fine del periodo considerato.

E' evidente come i modelli possano avere delle applicazioni concrete nella stesura di un bilancio dell'elemento e quindi per l'impostazione del corretto tasso di fertilizzazione per una coltura. L'obiettivo è naturalmente quello di ottimizzare la resa e la qualità della coltura e minimizzare gli impatti negativi sull'ambiente determinati dagli eccessi di N.

BIBLIOGRAFIA

- Masoni, A. (Ed.), 2010. Riduzione dell'Inquinamento delle Acque dai Nitrati Provenienti dall'Agricoltura Felici Editore, Pisa. <http://risorseidriche.arsia.toscana.it/pagebase.asp?p=1573>.
- Nannipieri, P., Falchini, L., Landi, L., Benedetti, A., Canali, S., Tittarelli, F., Ferri, D., Convertini, G., Badalucco, L., Grego, S., 1999. Nitrogen uptake by crops, soil distribution and recovery of urea-N in a sorghum-wheat rotation in different soils under Mediterranean conditions. *Plant and Soil* 208, 43-56.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18, 289–307.
- Stöckle, C.O., Martin, S.A., Campbell, G.S., 1994. CropSyst, a cropping systems simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield, *Agricultural Systems*, 46, 335-359.

Capitolo 3 – NUTRIZIONE AZOTATA

Stefania De Pascale, Cherubino Leonardi, Pietro Santamaria, Francesco Di Gioia e Maria Gonnella

3.1. INTRODUZIONE

Quando sono riferiti alla nutrizione minerale delle piante, i termini ‘assorbimento’ e ‘assimilazione’ sono spesso confusi ma si riferiscono, invece, a due processi molto diversi. L’assorbimento indica l’assunzione di elementi nutritivi (in genere in forma ionica) dal mezzo di crescita attraverso le radici e talvolta anche attraverso le foglie (ad esempio nel caso della concimazione fogliare). L’assimilazione, al contrario, indica il processo attraverso il quale gli elementi minerali assorbiti vengono utilizzati dalle piante per la sintesi di composti organici più o meno complessi. In questo senso, il termine ‘organicazione’ può essere considerato un sinonimo di ‘assimilazione’.

3.2. ASSORBIMENTO DELL’AZOTO

L’azoto è presente nel terreno in diverse forme, anche se la forma organica, non direttamente utilizzabile dalle piante, è quella prevalente. L’N organico viene progressivamente mineralizzato, cioè trasformato nelle forme assorbite dalle piante. Le piante possono assorbire N sotto forma nitrica (nitrato, NO_3^-), ammoniacale (ammonio, NH_4^+) e, in minor misura, sotto forma di piccole molecole (urea, aminoacidi); tuttavia l’assorbimento del NO_3^- è largamente prevalente.

I processi di assorbimento degli ioni vengono classificati in due categorie: attivo e passivo. Il primo è definito come un assorbimento contro un gradiente di potenziale elettrochimico; necessita quindi di energia. L’assorbimento passivo, invece, avviene secondo un gradiente di potenziale elettrochimico. L’assorbimento degli anioni (es. NO_3^-) avviene quasi sempre attraverso un processo attivo in quanto nella cellula vi è un potenziale elettrico negativo; per contro, l’assorbimento dei cationi (es. NH_4^+) può avvenire passivamente.

La velocità di assorbimento in condizioni di temperatura costante, tende a crescere asintoticamente all’aumentare della disponibilità dell’elemento fino a raggiungere un valore massimo. A bassa concentrazione dell’elemento, il ritmo di assorbimento aumenta secondo un andamento iperbolico; questo comportamento sta ad indicare l’esistenza di sistemi di trasporto (*carrier*) in grado di accelerare il movimento dei soluti attraverso le membrane.

In condizioni costanti di concentrazione, l’assorbimento netto di NO_3^- e di NH_4^+ subisce continue variazioni per effetto di diversi fattori, quali la traspirazione fogliare o il flusso di fotosintetati dalle foglie agli altri organi della pianta, in particolare alle radici. Il meccanismo più accettato per descrivere le cinetiche di assorbimento in un ampio intervallo di

concentrazioni ioniche esterne, è il meccanismo dualistico di trasporto secondo cui esistono due sistemi di trasporto: l'*High Affinity Transport System* (HATS) che agisce in un intervallo di bassa concentrazione di N ($< 0,5 - 1,0$ mM, pari a 7-14 mg/L) e il *Low Affinity Transport System* (LATS) che opera principalmente in condizioni di elevate concentrazioni. La capacità di assorbimento complessiva è determinata dalla somma della capacità di assorbimento delle due componenti HATS e LATS. I parametri di assorbimento dei due sistemi sono strettamente dipendenti dalla specie, dalla cultivar, dall'età della pianta e dalle condizioni di crescita.

L'assorbimento dell'N da parte di una pianta varia in relazione ai fabbisogni e alla disponibilità nel terreno; esso è comunque influenzato da fattori di ordine genetico, ambientale e culturale (Fig. 3.1). Nel caso degli ortaggi, il quadro è ulteriormente diversificato in relazione ai contesti colturali, alle agrotecniche adottate, alle rese e quindi alle asportazioni.

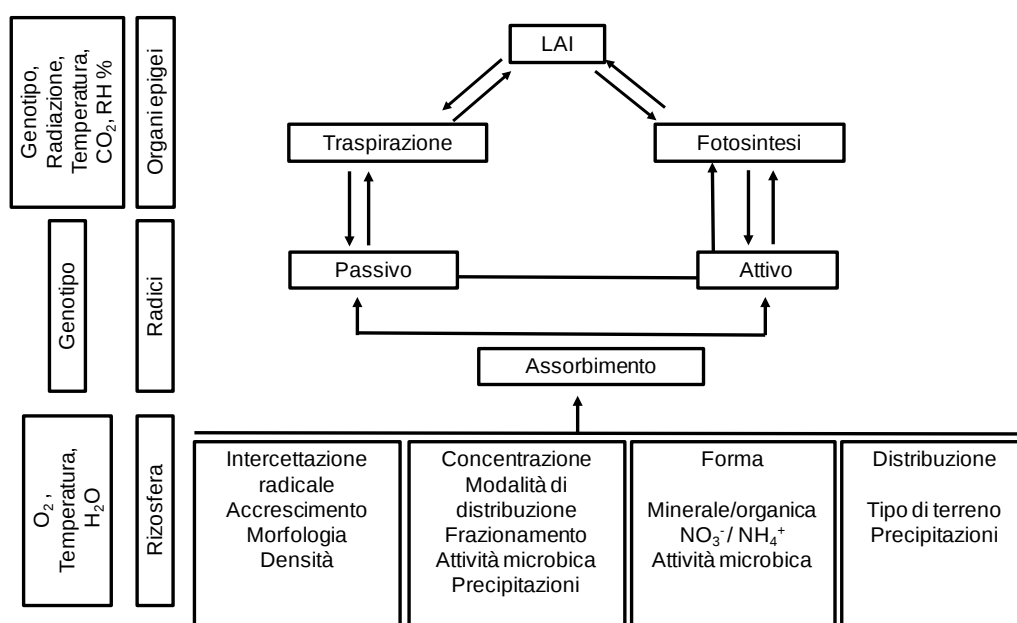


Figura 3.1. Fattori che influenzano l'assorbimento dell'azoto.

Il processo di assorbimento dell'N procede parallelamente alla crescita e allo sviluppo della pianta, aumenta all'aumentare del ritmo di accumulo della sostanza secca e diminuisce con il declino della vegetazione fotosinteticamente attiva. In generale, l'assorbimento di NO_3^- è correlato all'assorbimento idrico, a sua volta strettamente dipendente dalla traspirazione (nelle piante coltivate e in modo particolare nelle colture ortive, oltre il 90% dell'acqua assorbita viene traspirata). Su scala giornaliera, però, l'andamento dei due processi non è parallelo. L'assorbimento di N, infatti, è più alto nelle ore centrali della giornata e rimane elevato anche nelle prime ore della notte; al contrario, la traspirazione, e quindi l'assorbimento idrico, è maggiore nelle ore del mattino. È stato ipotizzato che la regolazione del processo di assorbimento avvenga attraverso meccanismi di feedback più specifici, anche negativi, a opera degli assimilati o degli stessi nitrati nella pianta.

La capacità di assorbire elementi nutritivi, in particolare l'N, è sicuramente un fattore

legato alle caratteristiche del genotipo. In particolare, l'assorbimento di N dalla rizosfera è strettamente correlato alla morfologia e alla densità dell'apparato radicale anche se non tutte le radici hanno la stessa capacità di assorbimento. Le diverse caratteristiche dell'apparato radicale dei portainnesti utilizzati, appunto, sarebbero responsabili della diversa capacità di assorbire nutrienti dalla soluzione circolante di piante di Solanacee e Cucurbitacee innestate. Anche l'età e lo stadio fisiologico dell'apparato radicale possono modificare la capacità di assorbimento dell'N che generalmente diminuisce con il procedere del ciclo colturale. A livello ipogeo l'assorbimento di N è correlato, inoltre, con il sistema irriguo utilizzato che influenza la distribuzione del contenuto idrico e degli elementi nutritivi nella rizosfera e la morfologia dell'apparato radicale.

Anche la forma di N presente nel terreno può influenzare l'assorbimento e lo sviluppo delle piante. Poiché esistono fenomeni di competizione tra le due forme di N, elevate concentrazioni di NH_4^+ , oltre ad essere tossiche per la pianta, inibiscono l'assorbimento di NO_3^- . La temperatura della rizosfera può avere effetti sulla velocità di assorbimento attraverso l'inibizione dell'attività respiratoria delle radici in condizioni di basse o elevate temperature. La temperatura ottimale per l'assorbimento di NO_3^- e NH_4^+ , come per molti altri nutrienti, è intorno a 25°C, mentre, temperature inferiori a 20°C o superiori a 30°C determinano una riduzione significativa dell'assorbimento. Inoltre, l'assorbimento di NH_4^+ comincia a ridursi intorno a 32°C, invece, riduzioni dell'assorbimento di NO_3^- si verificano già a circa 27°C confermando che l'assorbimento di NH_4^+ è prevalentemente di tipo passivo mentre quello di NO_3^- è dipendente dal processo di respirazione radicale; ciò appare particolarmente importante allorquando si ricorre all'utilizzo della pacciamatura per i possibili effetti sull'innalzamento della temperatura del suolo.

Fissazione dell'N nelle Leguminose

L'azotofissazione simbiotica è la più importante forma di fissazione biologica dell'N; è operata in prevalenza da batteri del genere *Rhizobium* che entrano in simbiosi con le piante principalmente appartenenti alla famiglia delle Leguminose. I batteri si insediano nelle radici dell'ospite, inducendo la formazione di noduli. Queste strutture, grazie alla presenza di tessuti vascolari, consentono gli scambi tra i batteri e il loro ospite: la pianta cede composti organici e sali minerali ricevendo però in cambio - potremmo dire - composti azotati.

Le quantità di N fissate in questo modo possono raggiungere valori di 200-300 kg/ha all'anno. Sebbene la fissazione biologica dell'N sia ancora fondamentale in alcuni contesti colturali, la sua importanza come sorgente di N in agricoltura si è notevolmente ridimensionata negli ultimi decenni come conseguenza del massiccio impiego di fertilizzanti di sintesi. Più recentemente, in rapporto alla diffusa consapevolezza dell'importanza di uno sviluppo agricolo sostenibile basato anche sulla valorizzazione delle risorse rinnovabili, si è riscoperto il ruolo della fissazione biologica dell'N, in particolare nell'agricoltura biologica. Nei sistemi intensivi (es. in serra) la possibilità di ricorrere alla fissazione biologica dell'N (ad esempio, rotazioni con colture leguminose azotofissatrici ortive e non) in alternativa o a integrazione dell'impiego di concimi azotati di sintesi è, ovviamente, poco considerato.

3.3. ASSIMILAZIONE DELL'AZOTO

L'N rappresenta uno dei quattro elementi indispensabili per la vita di tutti gli esseri viventi (gli altri sono il carbonio, l'ossigeno e l'idrogeno) ed entra nella composizione chimica di innumerevoli molecole biologiche quali amminoacidi e proteine, nucleotidi e acidi nucleici, clorofilla, vitamine, ormoni (auxine e citochinine) e metaboliti secondari come gli alcaloidi. Il contenuto di N totale nelle piante mediamente rappresenta l'1-4% della sostanza secca dei tessuti maturi e il 5-6% di quella dei tessuti giovani; nei semi delle Leguminose l'N costituisce il 4-5% della sostanza secca. Forti differenze esistono comunque tra le diverse famiglie botaniche, e al loro interno tra le diverse specie, in dipendenza della fase di sviluppo e dell'organo della pianta (radici, foglie, fusti, ecc.). L'assimilazione dell'N consiste nell'incorporazione dell'N inorganico assorbito dalle radici delle piante in molecole organiche e, più precisamente, in amminoacidi (le unità strutturali primarie delle proteine).

Come detto, la forma di N maggiormente assorbita dalle piante è NO_3^- che contiene N nello stato di ossidazione +5 (mentre nella maggior parte dei composti organici si trova allo stato di ossidazione -3) e quindi deve essere ridotto (con acquisto di 8 elettroni), con notevole dispendio energetico per la pianta. L'assimilazione dell'N nitrico in composti organici azotati può essere suddivisa in tre fasi principali (Fig. 3.2): 1) riduzione di NO_3^- a NH_4^+ ; 2) assimilazione di NH_4^+ in composti organici mediante il ciclo della glutammina (un amminoacido polare); 3) sintesi degli amminoacidi attraverso l'utilizzo del glutammato (o acido glutammico, un altro amminoacido polare) e/o della glutammina.

La reazione di riduzione di NO_3^- a NH_4^+ avviene in due passaggi distinti catalizzati da due enzimi diversi. Il primo passaggio è la riduzione di NO_3^- a NO_2^- (nitrito) catalizzata dall'enzima nitrato reduttasi (NR). La NR è localizzata nel citosol (la soluzione acquosa del citoplasma cellulare) delle cellule di tutti gli organi vegetativi della pianta (soprattutto radici e foglie) e la sua distribuzione nei dipende dal genotipo e dalle condizioni pedoclimatiche. La riduzione da NO_3^- a NH_4^+ comporta il trasferimento di due elettroni e utilizza il potere riducente del NADH (nelle foglie) o del NADPH (nelle radici). La regolazione della NR gioca un ruolo fondamentale nell'assimilazione dell'N e può avvenire attraverso la modulazione della trascrizione del gene che codifica per l'enzima o con un meccanismo post-trascrizionale. Nel primo caso, la presenza del substrato dell'enzima (NO_3^-) nel citoplasma aumenta la velocità di sintesi della NR, determinando un incremento di attività (induzione enzimatica). L'attività della NR, tuttavia, è regolata a livello post-trascrizionale da altri fattori tra i quali particolare importanza assume la luce. Nei tessuti verdi, infatti, la luce stimola il trasporto dell' NO_3^- accumulato nel vacuolo al citosol e le fasi successive di riduzione e assimilazione (disponibilità di ferredossina ridotta). Al contrario, quando luce e concentrazione di anidride carbonica (CO_2) sono sfavorevoli all'assimilazione di NO_3^- , l'attività della NR viene inibita rapidamente anche se in modo reversibile. Infine, la NR viene inattivata da NH_4^+ in modo da impedire l'accumulo di ammoniaca (NH_3).

Il nitrito (NO_2^-) è uno ione molto reattivo e potenzialmente tossico per le cellule vegetali. Per questo motivo, l' NO_2^- prodotto dalla riduzione di NO_3^- viene rapidamente trasportato dal citosol nei cloroplasti (nelle foglie) o nei plastidi (nelle radici), dove è ridotto a

NH_4^+ grazie all'enzima nitrito reduttasi (NiR). Per evitare un eccessivo accumulo di NO_2^- , la NiR è regolata trascrizionalmente in modo coordinato con la NR e i livelli di attività della NiR sono da 5 a 20 volte più elevati di quelli della NR.

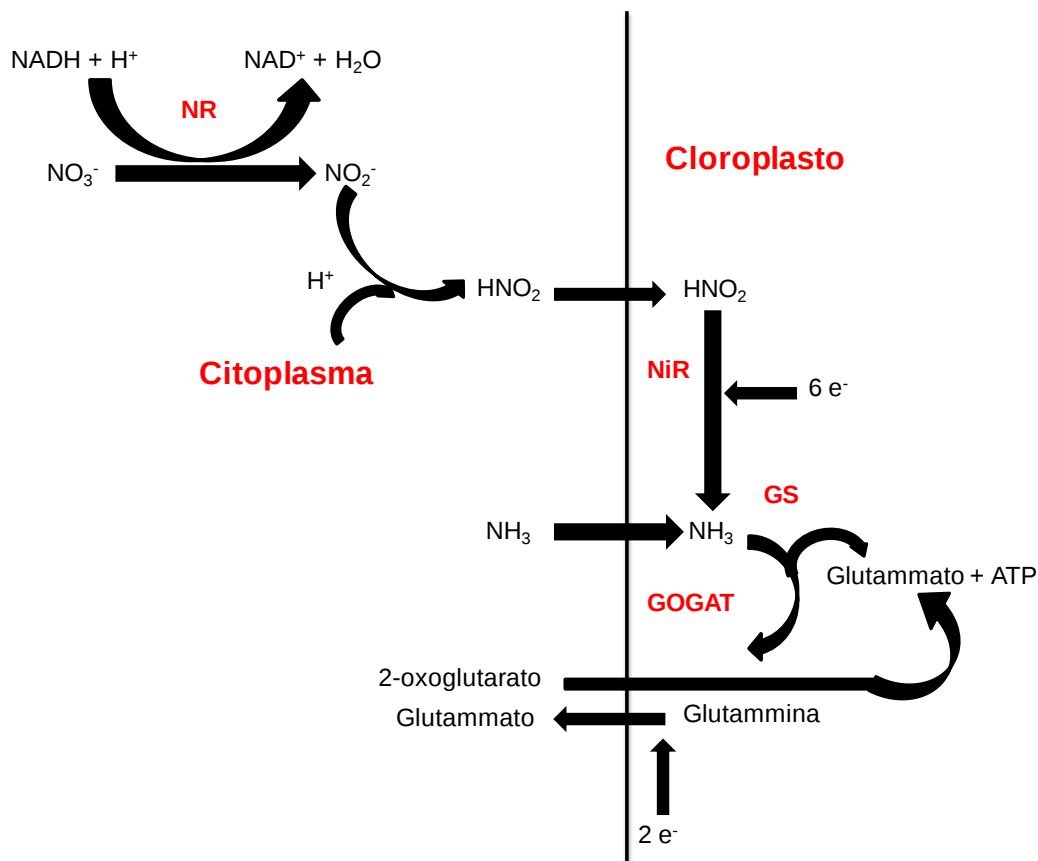


Figura 3.2. Schema semplificato dell'assimilazione dell'azoto.

Nelle piante, la riduzione dei nitrati può avvenire sia nelle radici che nelle foglie (dove NO_3^- arriva attraverso lo xilema seguendo la corrente traspiratoria). In presenza di basse quantità di NO_3^- la riduzione avviene preferibilmente nelle radici mentre, aumentando la quantità di NO_3^- assorbito, aumenta la quantità di NO_3^- ridotto nelle foglie e aumenta la produzione di composti del carbonio che favoriscono l'assimilazione dell'N in amminoacidi a discapito della sintesi di amido. L' NH_4^+ generato dalla riduzione di NO_2^- viene rapidamente convertito in amminoacidi per evitare che si accumulino a livelli tossici nelle cellule vegetali. La via principale di questa conversione coinvolge l'azione successiva di altri due enzimi: la glutammina sintetasi (GS) e la glutammato sintetasi (glutammina-ossiglutarato amminotransferasi, GOGAT). Glutammato e glutammina forniscono l'N per la biosintesi di tutti gli altri composti azotati nelle piante, compresi gli altri 18 amminoacidi. La glutammina, a esempio, oltre a formare il glutammato può donare il gruppo ammidico all'aspartato (o acido aspartico) per formare l'asparagina (altri due amminoacidi polari). Gli amminoacidi ammidici asparagina e glutammina rappresentano i composti più importanti per il trasporto e lo

stoccaggio dell'N nella maggior parte delle specie vegetali, poiché possono passare rapidamente dallo xilema al floema, presentano un basso rapporto C/N e trasportano NH_3 in una forma non tossica. Contrariamente al NO_2^- e all' NH_4^+ , il NO_3^- può anche essere accumulato, anche ad alte concentrazioni (più di 20 mM), nei vacuoli delle cellule delle radici, dei germogli e degli organi di riserva, dove svolge una funzione di regolazione osmotica (o osmoregolazione) del turgore cellulare insieme o in alternativa agli zuccheri e agli acidi organici.

3.4. EFFETTI DELL'AZOTO PRODUZIONE E QUALITÀ DEGLI ORTAGGI

La maggior parte delle specie orticole è caratterizzata da un breve ciclo colturale e spesso richiede considerevoli quantità di N per crescere rapidamente ed acquisire la qualità organolettica e nutrizionale desiderata, per es. il colore verde scuro dello spinacio e la consistenza croccante della lattuga. In generale, le specie orticole presentano una evidente risposta produttiva alla somministrazione di N, anche se late concimazioni determinano una bassa efficienza d'uso dell'N, che comporta ampie perdite di fertilizzante per lisciviazione ed elevati ed indesiderati accumuli di NO_3^- nelle parti eduli. L'accumulo di nitrato nelle porzioni eduli degli ortaggi rappresenta il più importante effetto della fertilizzazione azotata rispetto alla qualità nutrizionale dei prodotti e a questo argomento è dedicato il paragrafo successivo.

Effetti della carenza di N

Un'ottimale disponibilità di N è essenziale per il normale accrescimento e sviluppo della pianta, essendo l'N parte integrante delle proteine e della clorofilla. I sintomi di carenza di N sono stati ben caratterizzati per la maggior parte delle specie orticole. Le piante carenti di N risultano stentate a causa del ridotto accrescimento delle porzioni vegetative. Le foglie sono di un pallido verde chiaro o giallo, uniforme su tutta la lamina fogliare. Se la carenza di N riguarda l'intero ciclo della pianta, tutta la pianta risulta pallida e stentata. Se invece si determina in una fase del ciclo, l'N viene rimobilizzato dalle foglie basali a quelle più giovani, perciò le prime diventano pallide e in casi di grave e prolungata carenza, diventano necrotiche e cadono, mentre le giovani sembrano normali. Il colore pallido delle foglie carenti di N è dovuto alla diminuzione delle proteine nei cloroplasti e alla degradazione della struttura lamellare del cloroplasto. Allo stesso tempo, si verifica la rottura delle membrane e la perdita di clorofilla. All'interno della pianta la concentrazione di N può variare a seconda degli organi; nelle foglie mature di piante concimate la concentrazione di N è superiore al 3% della massa secca (foglie mature), ma può variare con le specie, le cultivar e le condizioni ambientali.

Effetti dell'eccesso di N

Anche l'eccesso di N può avere conseguenze negative sulle piante coltivate. L'eccesso di N causa in genere uno sbilanciamento verso la funzione vegetativa a scapito di radici e frutti, con un impatto minore sulla qualità visiva e maggiore su altri aspetti della qualità organolettica e nutrizionale. Per esempio, se l'N è applicato in eccesso e in ritardo durante il ciclo colturale, si può avere una riduzione del contenuto di amido e di sostanza secca nei

tuberi di patata. Nelle specie da frutto l'eccesso di N può comportare una scarsa allegazione; è questo un problema frequente nel pomodoro allevato in serra, accompagnato inoltre da ridotto contenuto in zuccheri e conseguente peggioramento del sapore delle bacche. Oltre alla scarsa allegazione, negli ortaggi da frutto l'eccesso di N determina il ritardo della maturazione dei frutti influenzato dall'ombreggiamento della vegetazione rigogliosa.

Nelle specie da foglia l'effetto prevalente dell'eccesso di N è l'accumulo di nitrato, ma allo stesso tempo si constata il peggioramento di altri indici della qualità, come ad esempio una diminuzione del contenuto di sostanza secca e di vitamina C. In uno studio sulla qualità sensoriale di alcuni tipi di lattuga cappuccio, romana e foglia di quercia, la migliore qualità percepita è stata rilevata su piante fertilizzate con appena 80 kg/ha di N, decisamente inferiore alla dose normale di N raccomandata nella coltivazione della lattuga di pieno campo in Italia (D'Antuono e Neri, 2001).

In generale, alte applicazioni di N sono correlate, oltre che con lo scadimento della qualità organolettica e nutrizionale (basso contenuto in zuccheri, acidi, ecc.), con la ridotta consistenza e serbevolezza, difetti di maturazione, difetti nella qualità esteriore (colore e forma) e la comparsa di disordini fisiologici come la vitrescenza, il *softening* dei frutti (melone, pomodoro), il cuore cavo in cavolo verza e broccoli.



Pomodoro allevato in serra-tunnel su terreno: l'eccessivo rigoglio vegetativo, dovuto all'abbondante dotazione azotata del terreno, determina la 'chiusura' dell'interfila che è destinata ad accentuarsi nelle epoche successive con gravi conseguenze sullo stato sanitario delle piante, sul ritardo di maturazione dei frutti e sulla qualità dei frutti stessi.

Effetto della forma azotata

La forma più abbondantemente disponibile e assimilata dalle piante è, come visto nel precedente paragrafo, quella nitrica. Anche NH_4^+ può essere assorbito, e direttamente assimilato, ma ciò pone diversi problemi di natura fisiologica legati, oltre che alla diretta tossicità di questo ione, all'eccessiva acidificazione dell'ambiente radicale e all'antagonismo nell'assorbimento di altri cationi (es. Ca). La risposta alla nutrizione ammoniacale cambia a seconda delle specie, che si dividono in intolleranti, sensibili e tolleranti. La maggior parte delle specie comunque non tollerano l'ammonio.

In generale, l' NH_4^+ fornito ad alte concentrazioni causa severe riduzioni della crescita per fenomeni di tossicità dovute a livelli di NH_4^+ eccedenti la capacità di assimilazione della pianta. Al contrario, nessun effetto negativo si osserva quando le specie, anche sensibili, sono allevate in condizioni di costante ma bassa disponibilità di NH_4^+ . A seconda della sensibilità della specie e della quantità fornita, l' NH_4^+ può indurre una crescita stentata associata a decolorazioni, clorosi e necrosi delle foglie e a lesioni sugli steli. Alcune specie (indivia, cipolla, mirtillo) tollerano normali concentrazioni di ammonio, anzi crescono meglio delle piante nutrite con NO_3^- , al limite mostrando tessuti fogliari più spessi e di colore verde intenso. In generale, nelle coltivazioni senza suolo, l'aggiunta di piccole quantità di NH_4^+ o comunque la somministrazione di un misto di NH_4^+ e NO_3^- (fino al 50% di NH_4^+) nelle soluzioni nutritive (in idroponica) migliora la crescita in molte specie, diminuisce il pH della soluzione nutritiva, riduce l'assorbimento dei cationi (Ca, K e Mg) e aumenta l'assorbimento di anioni quali fosfati e solfati. In alcune specie (es. lattuga e cavolo cinese con il 25% di N- NH_4^+ , indivia con prevalenza di NH_4^+) il rapporto misto tra le due forme azotate consente il massimo accrescimento e la massima produzione, con ritmi di crescita anche maggiori di quelli che entrambe le forme di N possono fornire da sole.

Azoto e contenuto di sostanza secca

All'aumentare della disponibilità di N generalmente diminuisce il contenuto di sostanza secca. Il contenuto di sostanza secca di ortaggi fortemente stressati per carenza di N può essere tre o quattro volte più alto del normale livello, pari al 4-6% della biomassa fresca per le specie da foglia.

Talvolta si considera la relazione tra il contenuto di acqua e quello di N ridotto (assimilato), che caratterizza lo stadio di intenso accrescimento delle piante, per esempio, nell'ultima fase del ciclo di crescita della lattuga. Nelle piante normalmente dotate di N, man mano che la pianta si accresce ed il ritmo di crescita aumenta, si verifica un caratteristico fenomeno di diluizione del contenuto di N, in particolare dell'N ridotto. In queste condizioni, si stabilisce quindi una relazione negativa tra il contenuto di acqua dei tessuti (che aumenta col procedere della crescita) ed il contenuto di N ridotto, che invece diminuisce, a causa dell'effetto di diluizione, tanto più velocemente quanto più veloce è la crescita (Fig. 3.3a). Nelle piante carenti di N, la suddetta relazione è positiva: la pianta presenta uno stato di carenza di N (in termini di disponibilità, assorbimento ed assimilazione) associata ad un elevato contenuto di sostanza secca (cioè basso contenuto di acqua) ma entrambi i parametri

aumentano col procedere della crescita e con l'aumentare della disponibilità di N (Fig. 3.3b).

Il contenuto di acqua influenza la croccantezza dei tessuti e del prodotto: migliore è la nutrizione di N, minore è il contenuto di sostanza secca (o maggiore il contenuto in acqua) e maggiore è la croccantezza. La croccantezza è inoltre influenzata dalle forme di N; in lattuga, ad esempio, si è visto che le piante nutrite con nitrato di Ca sono più croccanti di quelle fertilizzate con nitrato ammonico (Simonne *et al.*, 2001).

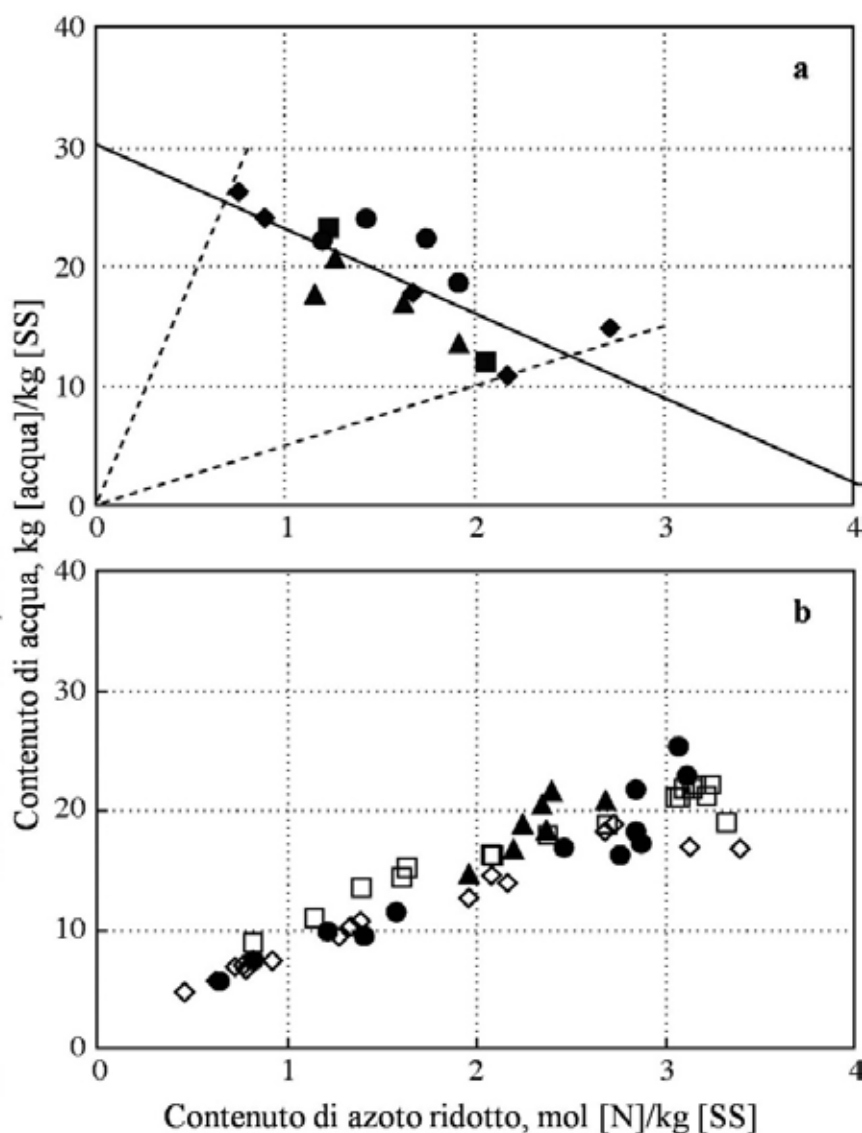


Figura 3.2. a) Relazione inversa tra acqua ed azoto ridotto in piante ben rifornite di N, derivante dalla diminuzione del contenuto di azoto e incremento del contenuto in acqua in piante di lattuga allevate su suolo in diverse stagioni. Quadrati: primavera; triangoli: estate; rombi: autunno; cerchi: inverno. b) Relazione diretta tra il contenuto di N-ridotto ed il contenuto in acqua di lattuga allevata in idroponica, risultante da stress da carenza di azoto. Le piante non stressate sono rappresentate dai punti nella parte alta del grafico. I simboli sono relativi a prove diverse. Rielaborato da Seginer *et al.* (2004).

Azoto e qualità nutrizionale

L'eccessiva somministrazione di N può diminuire la concentrazione di vitamina C, zuccheri solubili, Mg e Ca nei frutti e, al contrario, aumentare l'acidità titolabile e il rapporto acidi/zuccheri, provocando il peggioramento della qualità commerciale e nutrizionale.

La diminuzione della concentrazione di sostanza secca, correlata all'aumento della somministrazione di N alla coltura, provoca una diminuzione (sulla base del peso fresco) di vitamina C, glucosio, fruttosio ed elementi minerali (P, Ca e K), dovuta almeno in parte ad un effetto di diluizione. Rapportati al peso secco, invece, il contenuto di vitamina C può mostrare una riduzione all'aumentare della somministrazione di N, mentre glucosio, fruttosio, Ca e K restano costanti. Di solito, si riscontra una correlazione negativa tra il contenuto di NO_3^- e quello degli zuccheri, poiché entrambi agiscono da composti osmotici, cioè intervengono nella regolazione del potenziale osmotico interno delle cellule, ma in termini antagonisti: se aumenta il nitrato, a causa di fattori che ne favoriscono l'accumulo, diminuiscono gli zuccheri in seguito all'interazione del nitrato con il metabolismo di assimilazione dei composti organici. Nel caso di composti vegetali ad azione nutraceutica, cioè che hanno effetti positivi sulla salute umana, l'effetto della somministrazione di N è complesso ed è influenzato da molti fattori.

In generale, la biosintesi di glucosinolati nelle Brassicacee richiede l'ottimale disponibilità di N per consentire all'applicazione di zolfo di esplicare il suo effetto nella sintesi di questo particolare gruppo di composti solforati. D'altra parte, se l'N eccede il fabbisogno della pianta, si ha un arresto o comunque una diminuzione della sintesi di glucosinolati, soprattutto di quelli alifatici. Probabilmente, la maggiore disponibilità di N agisce sia sulla produzione di biomassa sia sulla biosintesi dei glucosinolati. L'accumulo di sostanza secca risulta negativamente correlata con la concentrazione dei glucosinolati alifatici. È probabile che la produzione di biomassa secca superi la biosintesi di glucosinolati, portando alla riduzione della loro concentrazione. Oltre determinati livelli di N, la concentrazione di glucosinolati si riduce drasticamente, a fronte di una concentrazione di biomassa secca ormai costante, suggerendo che possano verificarsi il catabolismo o la traslocazione dei glucosinolati.

Anche l'accumulo dei polifenoli, soprattutto flavonoli e antocianine, è ritardato dall'eccessiva somministrazione di N. Al contrario, la carenza di N può aumentare la concentrazione dei composti fenolici. Gli stress abiotici inducono alterazioni del metabolismo della pianta, causando l'aumento dei polifenoli. Questo spiega l'effetto favorevole della carenza di N in diverse specie. Il principio sembra applicabile a diverse classi di composti salutistici.

Azoto e suscettibilità a patogeni e fisiopatie

Il rapido accrescimento derivato da eccessiva disponibilità di N e la formazione di tessuti succulenti rendono le colture più suscettibili ad attacchi di patogeni e fitofagi e stimolano le malattie fungine. Al contrario, un effetto indiretto della disponibilità di N è legato alla funzione dei composti fenolici (acidi fenolici e polifenoli, come i tannini), che

nella pianta partecipano alla difesa dai patogeni. Se in condizioni di carenza o sub-carenza di N aumenta il contenuto dei composti fenolici, le piante risultano meglio protette nei confronti dei fitopatogeni.

Crescenti disponibilità di N possono ridurre l'incidenza del *tip-burn* nelle specie che ne sono soggette (varie tipologie di lattuga, cavolo), ma l'effetto dipende dal tipo di *tip-burn*, dall'epoca di coltivazione, da eventuali squilibri nutrizionali, come il rapporto K/N. In generale, una nutrizione bilanciata aumenta la biodisponibilità di importanti elementi come Ca, K e P, contribuendo a ridurre le fisiopatie a carico dei frutti o di altri organi.



Forte attacco di peronospora su piante di pomodoro allevate in serra in condizioni di eccessiva disponibilità di N, come evidenziato dalle dimensioni delle foglie.

Azoto e qualità in post-raccolta

Elevate disponibilità di N modificano la morfologia e la consistenza della foglia: ad esempio, si osservano foglie più sottili, con maggiore volume cellulare ed il mesofillo che assume un aspetto spugnoso. Queste modificazioni sono negativamente correlate con la consistenza delle foglie: nello spinacio, per esempio, le foglie prodotte con alti livelli di N (200 mg/L nella soluzione nutritiva in rapporto $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ di 80:20) sono risultate più fragili

di quelle ottenute a bassa disponibilità di N (50 mg/L con rapporto $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ di 80:20). Durante la conservazione, la qualità commerciale e nutrizionale dello spinacio si è ridotta, in modo più pronunciato nel trattamento con alti livelli di N, come anche in quello con elevata frazione di N somministrato in forma ammoniacale (180 mg/L di N con rapporto $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ di 55:45). In quest'ultimo caso si è verificato l'accumulo di ammonio nei tessuti con contemporanea diminuzione dell'attività della glutamina sintetasi (enzima preposto all'assimilazione dell'ammonio) e del contenuto di acido ascorbico.

3.5. L'ACCUMULO DEI NITRATI NEGLI ORTAGGI

L'accumulo di NO_3^- è caratteristico degli ortaggi da foglia o di quegli ortaggi la cui porzione edule è costituita da organi di pianta adibiti al trasporto dello ione nitrico (steli, piccioli, tuberi) (Tab. 3.1); gli ortaggi da frutto (pomodoro, zucchino, cetriolo) non pongono problemi di questa natura, poichè il NO_3^- è poco trasportato nel floema che rifornisce i frutti di nutrienti. L'accumulo di NO_3^- si verifica quando una consistente frazione di quello assorbito dalle radici non viene utilizzata nell'immediato ma va ad accumularsi nei vacuoli delle cellule per svolgere la funzione di riserva azotata e di osmoregolazione cellulare. Di fatto, l'accumulo dei nitrati è una forma del cosiddetto 'consumo di lusso'.

L'accumulo del nitrato può avvenire in misura diversa nei vari organi della pianta. Si riscontrano quantità di nitrato decrescenti in piccioli > lamine fogliari > steli > radici > tuberi > infiorescenze > bulbi > frutti > semi (Fig. 3.4). L'accumulo di nitrato negli ortaggi rappresenta un problema poichè, a differenza di altre specie da granella o da frutto, la porzione edule è spesso rappresentata dagli organi della pianta che hanno il contenuto più elevato di nitrato, e ciò vale in particolare per gli ortaggi da foglia.

Tabella 3.1. Classificazione degli ortaggi in rapporto al contenuto di nitrato (NO_3^-).

Contenuto di nitrati (mg/kg prodotto fresco)	Ortaggi
Molto basso (< 200)	Aglione, anguria, asparago, carciofo, cavolo di Bruxelles, cipolla, fagiolino, fava, melanzana, melone, patata, peperone, pisello, pomodoro
Basso (200 – 500)	Carota, cavolfiore, cavolo broccolo, cetriolo, cicoria catalogna, zucca, zuccina
Medio (500 – 1000)	Cavoli da foglia, cima di rapa, finocchio, radicchio
Alto (1000 – 2500)	Cavolo rapa, cicoria da foglie, indivia, prezzemolo, scarola, sedano rapa
Molto alto (> 2500)	Bietola da coste, bietola da orto, crescione, lattuga, ravanella, rucola, sedano, spinacio, valerianella

Finora, gli studi a livello genetico non sono stati in grado di definire un intervento di miglioramento genetico mirato a ridurre la capacità di accumulo del NO_3^- . È stato infatti riscontrato che questo è un carattere quantitativo poligenico regolato da diversi meccanismi fisiologici più o meno indipendenti, per cui è molto difficile attuare efficaci interventi su basi genetiche. Di seguito sono discussi i fattori che influenzano il contenuto di nitrato negli ortaggi e, di conseguenza, gli strumenti per ridurre l'accumulo di NO_3^- .

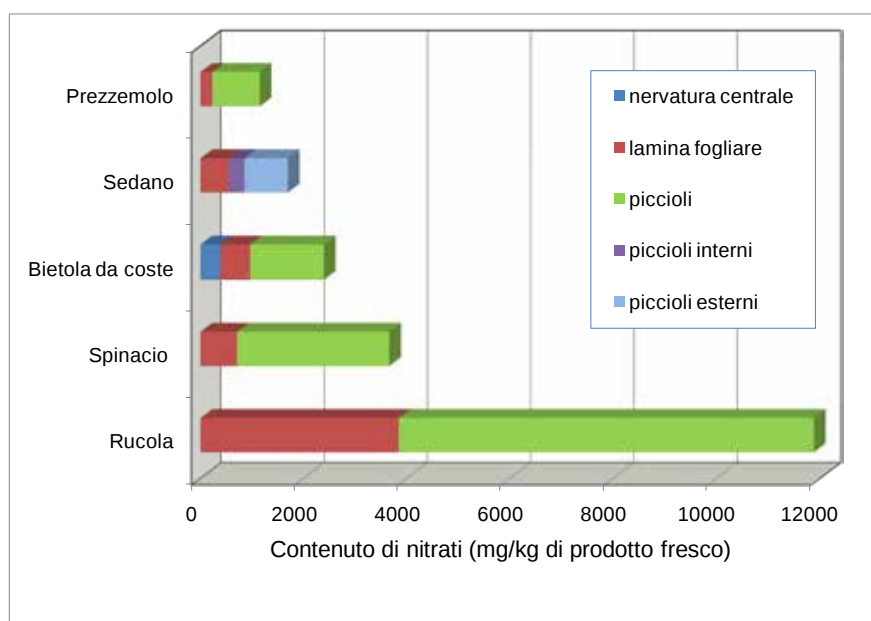


Figura 3.4. Contenuto di nitrato nelle porzioni eduli di alcuni ortaggi da foglia.

Radiazione solare

La luce, insieme alla concimazione azotata, è il principale fattore che controlla il contenuto di NO_3^- delle piante, perché influenza sia il loro ritmo di crescita delle piante sia la riduzione del NO_3^- .

In condizioni di bassa radiazione solare l'accumulo di NO_3^- è maggiore. La radiazione solare interviene nella sintesi della nitrato riduttasi (NR) e nella sua attivazione (al buio la NR è inattiva), fornisce energia al processo di ossido-riduzione e carboidrati ed acidi organici prodotti dalla fotosintesi, che agiscono da osmoregolatori nel vacuolo, in alternativa al nitrato. In base all'ipotesi della osmoregolazione, in condizioni di ridotta radiazione solare la capacità fotosintetica della pianta non è sufficiente a fornire i composti organici necessari per mantenere il turgore cellulare. Di conseguenza, la pianta accumula NO_3^- in sostituzione dei composti organici, la cui concentrazione è negativamente correlata con quella del NO_3^- . In aggiunta o in alternativa a questo meccanismo, la regolazione dell'assorbimento del nitrato dall'esterno è considerata un meccanismo a *feed-back* negativo:

- i) se la radiazione solare è elevata, si verifica un rapido accrescimento, viene utilizzato il NO_3^- accumulato e viene stimolato l'assorbimento di altro NO_3^- dall'esterno;
- ii) se la radiazione solare è bassa, l'accrescimento ridotto e la debole richiesta di N organico

comportano l'accumulo di nitrato, fino a che la regolazione dell'assorbimento non ne viene influenzata come risposta di ritorno (*feed-back*).

La radiazione spesso agisce in interazione con la disponibilità di N: in condizioni di bassa radiazione solare (mesi invernali, giornate nuvolose) il NO_3^- si accumula anche se l'apporto di N è ridotto, mentre con elevata radiazione solare il NO_3^- si accumula solo se si applicano livelli di N superiori alle asportazioni da parte della pianta. Questo aspetto assume un notevole peso nella coltivazione in ambiente protetto, in cui si verificano spesso condizioni di scarsa radiazione solare, a causa dell'ombreggiamento della copertura e della coltivazione nei mesi invernali, associate a variazioni nella qualità della luce e a rilevanti disponibilità di N nel terreno. Ciò avviene frequentemente soprattutto nelle condizioni ambientali del Nord Europa, tanto da aver indotto il legislatore ad aumentare i limiti massimi di accumulo del nitrato negli ortaggi coltivati durante la stagione più fredda. Nelle aree dell'Europa meridionale, invece, le suddette condizioni si verificano solo in limitati periodi in autunno e in inverno, con accumuli di NO_3^- comunque più bassi di quelli riscontrabili nel Nord Europa.

L'attività della NR è variabile anche nel corso delle 24 ore. Infatti, di solito, il contenuto di NO_3^- è maggiore nelle prime ore del mattino (Fig. 3.5), come è stato osservato in diverse specie ortive (bietola da coste, cima di rapa, indivia, spinacio, lattuga). Perciò la raccolta dovrebbe essere eseguita nelle prime ore pomeridiane o comunque quando sia la luminosità che la temperatura dell'aria sono più alte. Durante i mesi invernali, oltre alla bassa radiazione solare, anche il fotoperiodo, caratterizzato dai giorni brevi, favorisce l'accumulo di NO_3^- . L'effetto, osservato nel confronto tra produzioni autunno-vernine e produzioni primaverili-estive, è stato confermato da diversi studi in ambiente controllato nei quali l'accumulo di NO_3^- è stato ridotto allungando il fotoperiodo con l'applicazione di luce supplementare, anche a bassa irradianza.

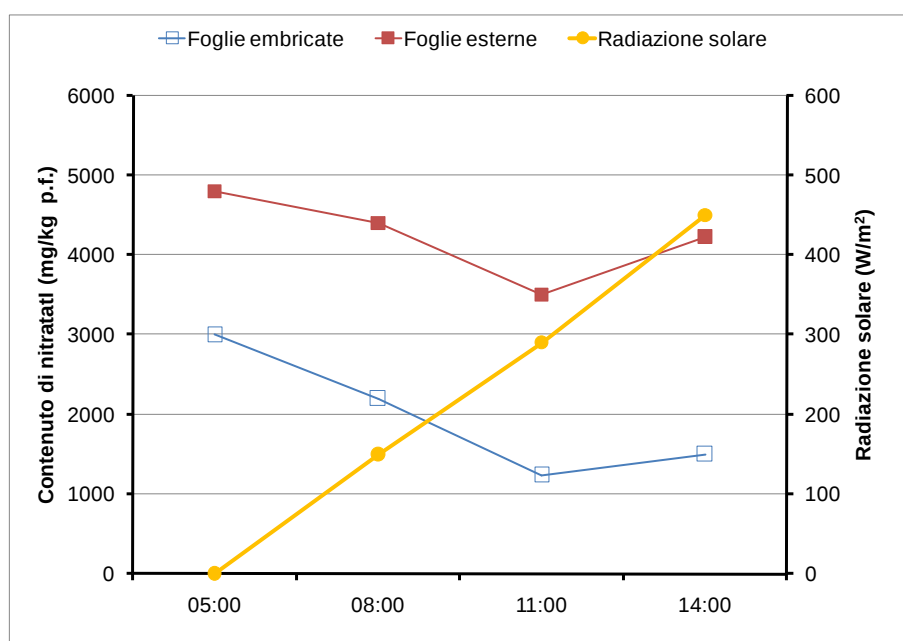


Figura 3.5. Variazione giornaliera del contenuto di nitrato nella lattuga.

Temperatura

A differenza della luce, l'influenza della temperatura sull'accumulo di NO_3^- è complessa, dal momento che essa interviene su numerosi processi (assorbimento, traslocazione e assimilazione di NO_3^-). L'aumento della temperatura stimola l'assorbimento di NO_3^- ; viceversa, l'abbassamento della temperatura dell'aria o solo della zona radicale sortisce l'effetto contrario. In autunno e primavera le condizioni climatiche possono essere tali da avere una ridotta radiazione bassa ma un'alta temperatura alta; questo può provocare l'aumento del contenuto di NO_3^- nei prodotti. Invece, in estate, anche se le temperature sono elevate, il contenuto di NO_3^- è più basso che in inverno grazie all'elevata radiazione.

Concimazione azotata

Al pari della radiazione luminosa, la disponibilità di N nel mezzo di crescita condiziona l'accumulo di NO_3^- in vari modi. Tra questi c'è l'interazione con il genotipo. La rucola, infatti, è in grado di accumulare notevoli quantità di nitrato (anche fino a 50-100 volte superiori a quella disponibile nel mezzo di coltivazione) anche in condizioni di ridotta disponibilità di N. Vale ancora la precisazione che la disponibilità di N non risulta soltanto dall'N apportato alla coltura in esame, ma dalla quantità totale di N presente nel terreno, costituita dai residui di N della coltura precedente, dall'N proveniente dalla mineralizzazione della sostanza organica e dei concimi organici. È ovvio che ciò non vale nelle coltivazioni senza suolo dove è possibile controllare puntualmente la nutrizione azotata ed intervenire tempestivamente per la correzione degli apporti fino alla sostituzione completa della soluzione nutritiva con acqua in prossimità della raccolta, per indurre la pianta ad utilizzare il nitrato accumulato.

La forma chimica in cui l'N è disponibile condiziona l'accumulo di NO_3^- . La preferenza d'uso di una o dell'altra forma dipende dalla specie, dall'età della pianta, dalle condizioni ambientali e dal rapporto tra le due forme di N. Se in alcune specie (bietola da coste, pomodoro, fragola) anche piccole quantità di NH_4^+ possono indurre sintomi di tossicità sulla pianta (crescita stentata, decolorazione, clorosi e necrosi delle foglie, lesioni sugli steli), in altre (indivia, riso, cipolla e mirtillo) l' NH_4^+ è tollerato anche come forma esclusiva di N. In quest'ultimo caso le piante ottenute non accumulano NO_3^- . Nella maggior parte delle specie, comunque, la risposta è migliore in presenza di entrambe le forme chimiche di N in un rapporto favorevole al NO_3^- rispetto all' NH_4^+ . Gli inibitori della nitrificazione o la somministrazione dell'N attraverso i concimi a rilascio controllato rallentano temporaneamente il processo di conversione da NH_4^+ a NO_3^- , mettendo l' NH_4^+ a disposizione delle piante per periodi più lunghi.

La risposta alla concimazione organica, in termini di disponibilità di N in forma ammoniacale e quindi di accumulo di NO_3^- , è simile a quella riportata per i concimi a lento effetto o con inibitori della nitrificazione, accertato che non si operi in condizioni che accelerino la mineralizzazione della sostanza organica apportata. Per questo motivo la fertilizzazione organica è poco efficace nel controllo dell'accumulo del NO_3^- , soprattutto se adottata in serra e in ambienti mediterranei.

Anche la modalità di distribuzione del concime azotato può risultare condizionante, nel senso che la distribuzione frazionata in due o più momenti del ciclo colturale dovrebbe tradursi in una maggiore efficienza d'uso dell'N, soprattutto se il frazionamento riflette il ritmo di asportazione ed accrescimento della coltura.

Agricoltura biologica

La concimazione organica, in specie quella letamica, riduce, in genere, l'accumulo di NO_3^- , fornendo produzioni più o meno equivalenti a quelle dei fertilizzanti minerali.

Generalmente, nei sistemi di produzione biologica gli apporti di N sono inferiori rispetto all'agricoltura tradizionale. Questo garantisce l'ottenimento di prodotti con contenuto di nitrato più basso. Occorre considerare, però, che quando si ricorre all'interramento di residui colturali, quali, ad esempio, quelli di una leguminosa, l'apporto di N organico prontamente mineralizzabile può raggiungere anche 100-300 kg/ha; pertanto, nella rotazione è buona norma far seguire alla leguminosa un ortaggio ad elevata richiesta di N, onde evitare disponibilità eccessive di N. Al di là della quantità di N messa a disposizione delle colture biologiche, bisogna prendere atto che spesso in questo sistema di produzione si impiegano fonti di N a pronto effetto e con titolo in N piuttosto elevato, come ad esempio il sangue secco. In tali condizioni la risposta della coltura in termini di asportazione è rapida, e può portare ad accumuli di NO_3^- soprattutto in condizioni di bassa radiazione solare e/o elevata temperatura.

Inoltre, a volte, per evitare carenze di N, spesso si tende ad eccedere con la concimazione organica, soprattutto in pre-impianto, ma non potendo controllare i tempi di mineralizzazione e il rilascio dei nutrienti si corre il rischio di un possibile effetto sull'accumulo del NO_3^- nelle porzioni eduli.

Cloro e molibdeno

In molte specie il NO_3^- svolge un importante ruolo come ione osmoticamente attivo. In questa funzione non specifica il NO_3^- può essere sostituito parzialmente dal cloruro (Cl). Pertanto, la fertilizzazione con sali a base di Cl (es. cloruro di potassio) può portare ad una riduzione fino al 50% della concentrazione di nitrato nella pianta e ad una riduzione anche del fabbisogno di N. D'altra parte un eccesso di Cl può provocare riduzioni di produzione.

Un aumento della concentrazione del NO_3^- nei tessuti vegetali può verificarsi a causa della carenza di molibdeno (Mo), che è l'elemento fondamentale nella sintesi della NR.

Irrigazione

Il NO_3^- è uno ione estremamente solubile e mobile nella fase liquida del terreno, perciò la disponibilità di acqua nel terreno favorisce l'assorbimento di NO_3^- da parte delle piante. D'altra parte, anche la carenza idrica può determinare l'accumulo di NO_3^- attraverso la riduzione dell'attività della NR, ancor prima che si abbia il rallentamento dell'assorbimento del NO_3^- da parte delle radici. Inoltre, l'elevata umidità dell'atmosfera, limitando la traspirazione, può rallentare l'assorbimento del NO_3^- . Infine, l'eccessivo apporto al terreno di acqua con le piogge o l'irrigazione determina l'allontanamento del NO_3^- dal volume di terreno

interessato dalla rizosfera, per lisciviazione negli strati profondi e in falda. È ovvio che ciò non avviene in coltura protetta e quando l'irrigazione è ben gestita.

Colture senza suolo

Tutti i sistemi di allevamento senza suolo si basano sull'impiego di una soluzione nutritiva che può essere controllata sia a livello della sua composizione minerale sia in termini di variabili irrigue. Nelle colture senza suolo è possibile ottenere ortaggi con basso contenuto di NO_3^- : i) somministrando forme ridotte dell'N (NH_4^+ e urea), anche se in presenza del NO_3^- ; ii) aggiungendo Cl; iii) eliminando il NO_3^- dalla soluzione nutritiva in prossimità della raccolta. Quest'ultimo approccio consente di diminuire in modo significativo la concentrazione di NO_3^- , ad esempio, nella rucola o nella lattuga, senza ridurre le produzioni. L'effetto della modificazione della soluzione nutritiva per pochi giorni può risultare meno efficace durante l'inverno, quando l'insufficiente radiazione solare limita sia il ritmo di crescita della pianta sia il ritmo di riduzione del NO_3^- e quindi il metabolismo del NO_3^- nei vacuoli. In queste condizioni l'utilizzazione di cloro potrebbe essere più efficace.

Riduzione del contenuto di nitrato alla raccolta e in post-raccolta

Considerando che le foglie giovani interne accumulano meno NO_3^- di quelle esterne, l'eliminazione delle foglie più vecchie o mature rappresenta un semplice accorgimento per abbattere il contenuto di NO_3^- negli ortaggi da foglia nella fase di lavorazione o di preparazione per il consumo.

In funzione della diversa dislocazione del NO_3^- nelle differenti porzioni di pianta (Fig. 6), alcune operazioni di mondatura possono consentire una più o meno drastica riduzione del contenuto di NO_3^- ; per esempio, l'eliminazione o accorciamento del picciolo in specie come rucola e spinacio e l'eliminazione della nervatura centrale delle foglie di lattuga e simili.

In post-raccolta la conservazione degli ortaggi a temperatura ambiente favorisce la trasformazione del NO_3^- in NO_2^- . Il NO_2^- può formarsi già negli alimenti se sono conservati in condizioni di ipossia come in quelli inscatolati o imbustati, dove il NO_3^- viene ridotto a NO_2^- se si verifica carenza di ossigeno nell'imballaggio e se nello stesso tempo sono presenti microrganismi anaerobi facoltativi, come *Escherichia coli*, i quali, finito l'ossigeno, iniziano a respirare il NO_3^- . La refrigerazione rallenta il processo. La surgelazione lo inibisce completamente lasciando inalterato il contenuto sia di NO_3^- che di NO_2^- .

Poiché il NO_3^- è solubile in acqua, il lavaggio casalingo o la lavorazione del prodotto surgelato o di IV gamma può ridurre del 10-15% il contenuto di NO_3^- . Per lo stesso motivo, gli ortaggi cotti in acqua o sbollentati prima della surgelazione cedono NO_3^- all'acqua di cottura mentre quelli cotti a vapore lo conservano.

In conclusione, è possibile produrre ortaggi con contenuto di nitrato minore di quelli previsti dalla Commissione europea, soprattutto nelle regioni caratterizzate da maggiore disponibilità di radiazione solare. Dal punto di vista agronomico è possibile ridurre il contenuto di nitrato soprattutto mediante la razionalizzazione della concimazione azotata. Anche il consumatore può ridurre l'assunzione di nitrato asportando le porzioni delle parti eduli che sono più ricche di nitrato.

BIBLIOGRAFIA

- D'Antuono, L.F., Neri, R., 2001. The evaluation of nitrogen effect on lettuce quality by means of descriptive sensory profiling. *Acta Horticulturae* 563, 217-223.
- EFSA, 2008. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. *The EFSA Journal* 689, 1-79. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/689.htm>
- Izzo, R., Quartacci, M.F., 2010. Nutrizione azotata dei vegetali. In "Riduzione dell'inquinamento delle acque dai nitrati provenienti dall'agricoltura. Ed. Masoni A. Felici Editore, Pisa, 191-209.
- Maffei, M., 1998. Assunzione e Assimilazione dell'azoto. In: *Biochimica Vegetale* di Maffei M. Piccin-Nuova Libreria S.p.A., Padova, 386-407.
- Masoni, A., Ercoli, L., 2010. Azoto nel terreno. In "Riduzione dell'inquinamento delle acque dai nitrati provenienti dall'agricoltura. Ed. A. Masoni. Felici Editore, Pisa. 211-241.
- Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J Sci Food Agric* 86, 10-17.
- Santamaria, P., Gonnella, M., Valenzano, V., 2002. Livelli di nitrato e commercializzazione degli ortaggi. *Colture Protette*, 31 (Supplemento al n. 12), 7-13.
- Seginer, I., Bleyaert, P., Breugelmans, M., 2004. Modelling ontogenetic changes of nitrogen and water content in lettuce. *Ann. Bot.* 94, 393-404.
- Simonne, E., Simonne, A., Wells, L., 2001. Nitrogen source affects crunchiness, but not lettuce yield. *J. Plant Nutrition* 24, 743-751.

Capitolo 4 – TECNICHE DI CONCIMAZIONE

Luca Incrocci, Daniele Massa, Adriano Battilani, Francesco Di Gioia, Maria Gonnella, Alberto Pardossi e Pietro Santamaria

4.1. GENERALITA'¹

La fertilità del terreno rappresenta l'insieme delle caratteristiche che lo rendono idoneo alla crescita e allo sviluppo della coltura. I principali fattori della fertilità del terreno sono: 1) il contenuto degli elementi nutritivi; 2) le caratteristiche chimico-fisiche, che influenzano la disponibilità di acqua ed elementi nutritivi per la pianta e la crescita della radice; 3) la microflora responsabile della mineralizzazione della sostanza organica e dei residui colturali presenti nel terreno e 4) l'assenza di patogeni e parassiti

La fertilizzazione è l'insieme di pratiche agronomiche volte a migliorare la fertilità di un terreno attraverso una modifica delle proprie caratteristiche fisiche, chimiche e/o biologiche e comprende gli interventi di:

- concimazione: quando si apportano, attraverso i concimi, gli elementi nutritivi necessari per la crescita delle piante;
- ammendamento: quando si apportano materiali in genere organici con lo scopo di migliorare le caratteristiche fisiche e biologiche del terreno;
- correzione: quando si correggono caratteristiche come ad es. il pH.

In questo capitolo sono illustrati alcuni aspetti della concimazione e in particolare:

- le caratteristiche dei concimi ;
- una procedura per calcolare la dose ottimale di N, P e K da distribuire alle colture ortive di pieno campo e i criteri da seguire nella distribuzione dei concimi (piano di concimazione);
- un metodo per la gestione della concimazione degli ortaggi in serra basato sul monitoraggio del contenuto di nutrienti del terreno;
- le linee guida per la gestione della nutrizione minerale nelle colture fuori suolo.

4.2. TIPI DI CONCIMI²

Il termine fertilizzante è attribuito a qualsiasi sostanza, minerale o organica, di origine naturale o di sintesi, che, grazie al contenuto di uno o più elementi nutritivi o alle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, contribuisce al miglioramento della fertilità del terreno e/o alla nutrizione delle specie vegetali coltivate.

¹ L. Incrocci e D. Massa

² F. Di Gioia e M. Gonnella

Box 4.1. Il titolo dei concimi

Il titolo di un concime rappresenta la percentuale in peso dell'elemento o degli elementi nutritivi contenuti nel concime. Ad esempio, l'urea ha titolo di N pari al 46%; per cui in 100 kg di urea sono contenuti 46 kg di N.

La legislazione europea prevede che il titolo di ciascun concime in commercio sia dichiarato in etichetta o su un documento di accompagnamento e, per i concimi azotati, può essere espresso solo in forma elementare (N), mentre per il P, il K e gli elementi nutritivi secondari (Ca, Mg, Na e S) può essere espresso in forma elementare (P, K, Ca, Mg, Na, S), in forma di ossido (P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , Na_2O , SO_3) o in entrambe le forme. Per questo, è importante conoscere i fattori di conversione tra la forma elementare e la forma ossidata degli elementi principali e secondari riportati di seguito.

Fattori di conversione tra forme elementari e ossidi o anidridi degli elementi nutritivi.

Elemento	Ossido o anidride	Fattore di conversione dell'elemento in ossido o anidride	Fattore di conversione dell'ossido o anidride in elemento
Azoto (N)	Ione nitrato (NO_3^-)	$NO_3^- = 4,428 \times N$	$N = 0,225 \times NO_3^-$
P (P)	Anidride fosforica (P_2O_5)	$P_2O_5 = 2,291 \times P$	$P = 0,436 \times P_2O_5$
Potassio (K)	Ossido di potassio (K_2O)	$K_2O = 1,205 \times K$	$K = 0,830 \times K_2O$
Magnesio (Mg)	Ossido di magnesio (MgO)	$MgO = 1,658 \times Mg$	$Mg = 0,603 \times MgO$
Calcio (Ca)	Ossido di Calcio (CaO)	$CaO = 1,399 \times Ca$	$Ca = 0,715 \times CaO$
Zolfo (S)	Anidride solforica (SO_3)	$SO_3 = 2,497 \times S$	$S = 0,400 \times SO_3$
Sodio (Na)	Ossido di sodio (Na_2O)	$Na_2O = 1,348 \times Na$	$Na = 0,742 \times Na_2O$

Nel caso dei concimi composti o complessi contenenti due o più elementi nutritivi, il titolo di N, P_2O_5 e K_2O è riportato in etichetta sempre in questo ordine; a seguire è riportato il titolo di eventuali elementi secondari. Il titolo dei microelementi è riportato in forma elementare seguendo l'ordine alfabetico dei rispettivi simboli chimici: B (boro), Co (Cobalto), Cu (rame), Fe (Ferro), Mn (Manganese), Mo (Molibdeno) e Zn (Zinco).

Il titolo del concime è importante per calcolare la quantità di concime da distribuire, per apportare alla coltura la quantità di nutrienti definita dal piano di concimazione ed eventualmente, per calcolare il costo di ciascuna unità fertilizzante. La quantità di concime (Qc) da distribuire è calcolata dividendo la quantità di elemento nutritivo (Qn) da somministrare per il titolo (T) del concime utilizzato.

Ad esempio, dovendo distribuire 120 kg/ha di N, se si utilizza l'urea, che ha un titolo in N del 46%, si dovranno distribuire:

$$Q_c = Q_n/T = 120/0,46 = 261 \text{ kg/ha di urea}$$

Se in alternativa all'urea fosse utilizzato il nitrato di calcio, che ha un titolo di N del 15,5%, si dovranno distribuire:

$$Q_c = Q_n/T = 120/0,155 = 774 \text{ kg/ha di nitrato di calcio}$$

Nel caso degli altri elementi nutritivi principali e secondari, se il titolo fa riferimento alla forma ossidata dell'elemento, è necessario fare una correzione utilizzando i fattori di conversione (FC) riportati nella tabella precedente. Ad esempio, dovendo distribuire 150 kg/ha di K, utilizzando il solfato di potassio, che ha un titolo pari al 50% come K_2O , si dovranno impiegare:

$$Q_c = Q_n/T \times FC = 150/0,50 \times 1,205 = 361,5 \text{ kg/ha di solfato di potassio}$$

dove 1,205 è il fattore di conversione del K in K_2O (v. Tab. precedente).



Esempio di etichetta di concimi CE.

Box 4.2. Solubilità e precipitazione dei concimi

Una caratteristica importante dei concimi, soprattutto per l'impiego in fertirrigazione o in coltivazioni senza suolo, è la solubilità, che può essere definita come la quantità massima di soluto (concime) che si può sciogliere in un dato volume di solvente (acqua). Superando tale quantità massima, la soluzione è satura e l'eccesso di soluto precipita. La non completa solubilità dei concimi, con la formazione di precipitati solidi, può causare l'occlusione dell'impianto di fertirrigazione con conseguente non omogenea distribuzione della soluzione fertilizzante. I concimi sono dei sali e in acqua (composto polare) si dissociano formando ioni positivi (cationi) e ioni negativi (anioni). Ciascun catione (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) è circondato dalla parte polarizzata negativamente dell'acqua, mentre gli anioni (SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , NO_3^- , Cl^-) sono circondati dalla parte polarizzata positivamente; per cui, in definitiva, entrambi (anioni e cationi), essendo circondati da un velo d'acqua, non possono riformare il sale, e rimanendo in soluzione, possono essere assimilati dalle piante.

La solubilità in acqua varia da concime a concime e per lo stesso concime aumenta con l'aumentare della temperatura (v. tabella seguente).

Solubilità in acqua dei principali concimi minerali.

Concime	Formula	Solubilità (g per 100 mL)	
		0 °C	20 °C
Nitrato di calcio	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}] \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	102	122
Nitrato ammonico	NH_4NO_3	120	192
Nitrato di potassio	KNO_3	14	32
Nitrato di magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	26	596
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	66	103
Solfato di potassio	K_2SO_4	7	11
Solfato di magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	26	72
Solfato di ferro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	15	53
Fosfato monopotassico	KH_2PO_4	14	23
Fosfato monoammonico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	23	37
Fosfato biammonico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	43	66
Cloruro di sodio	NaCl	-	32
Cloruro di calcio	CaCl_2	-	68
Cloruro di potassio	KCl	-	87

Box 4.3. Reazione dei concimi

I concimi sono caratterizzati da una reazione (pH) acida, basica o neutra. La reazione di un concime può essere di tipo costituzionale o di tipo fisiologico.

La reazione costituzionale (acida o basica) dipende dalla composizione del concime stesso, che in acqua determina una reazione acida o basica. Ad es., il perfosfato minerale è costituzionalmente acido (pH 3) essendo costituito da una miscela di fosfato monocalcico e solfato di calcio, che in acqua liberano acido fosforico ed acido solforico determinando un abbassamento di pH. Viceversa l'ammoniaca anidra (NH_3) è un concime costituzionalmente alcalino in quanto dà origine allo ione ammonio (NH_4^+) riducendo la concentrazione di ioni idrogeno della soluzione circolante; inoltre, in presenza di acqua, l'ammonio dà origine all'idrossido di ammonio (NH_4OH) che ha reazione alcalina.

Concimi a reazione		
Acida	Neutra	Alcalina
Solfato ammonico		Ammoniaca anidra
Urea formaldeide		Nitrato di calcio
Urea ricoperta con zolfo	Nitrato ammonico	Nitrato di magnesio
Perfosfato	Perfosfato di ammonio	Nitrato di sodio
Fosfato monoammonico	Urea	Nitrato del Cile
Fosfato biammonico		Calciocianamide
Solfato di potassio		Scorie Thomas
Cloruro di potassio		

La reazione fisiologica dipende dalle trasformazioni subite nel terreno dai principi nutritivi contenuti nel concime, in seguito all'interazione con la coltura. Infatti, le piante possono assorbire in maniera differenziale la frazione cationica o anionica di un concime. I concimi fisiologicamente acidi o basici sono quelli formati da sali dei quali la pianta assorbe, rispettivamente, la parte basica o la parte acida in maggior misura o più velocemente rispetto all'altra. Ad es., il solfato di potassio (K_2SO_4) è un concime fisiologicamente acido, in quanto le piante assorbono il K più dell'anione solfato (SO_4^{2-}). Al contrario, il nitrato di calcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] è un concime costituzionalmente neutro, in quanto è formato da un acido forte (acido nitrico, HNO_3) e da una base forte [idrossido di calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$], ma nel terreno diventa fisiologicamente alcalino, in quanto le piante assorbono più l'anione NO_3^- del catione Ca^{2+} .

Sebbene sia consigliato l'utilizzo di concimi caratterizzati da una reazione che contrasti il pH del terreno, è importante ricordare che, nel caso dell'applicazione al terreno, data l'esigua quantità di concime normalmente distribuita, e l'elevato potere tampone del suolo, le variazioni di pH sono minime e solo temporanee. Tuttavia, nel lungo termine un utilizzo continuo di concimi a reazione alcalina in suoli acidi e, viceversa, di concimi a reazione acida in suoli alcalini, può contribuire a migliorare in maniera rilevante la crescita delle piante. La correzione del pH del suolo, quando possibile, richiede invece consistenti applicazioni di specifici correttivi.

In funzione dell'azione svolta nel terreno, i fertilizzanti si suddividono in:

- concimi: forniscono uno o più elementi nutritivi necessari alla crescita delle piante;
- ammendanti: modificano e migliorano le caratteristiche fisiche e biologiche del terreno;
- correttivi: modificano e migliorano le caratteristiche chimiche del terreno, come ad esempio la reazione (pH), la salinità e il tenore in sodio (Na).

Attualmente, in Italia il settore dei fertilizzanti è regolamentato dal Decreto Legislativo n. 75 del 29 aprile 2010 “Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”, che ha recepito il Regolamento della Commissione Europea (C.E.) n. 2003 del 13 ottobre 2003. Mentre il regolamento comunitario fa riferimento solo ai concimi minerali contenenti elementi nutritivi principali, secondari o micro, la legislazione italiana comprende anche i concimi organici e organo-minerali, gli ammendanti, i correttivi, i substrati e altre categorie, definite ad azione specifica, come gli inibitori, i ricoprenti, i co-formulanti, gli attivatori, i chelanti ed i biostimolanti. Pertanto, a livello commerciale si distinguono i “concimi CE” che rispondono alle norme della C.E. e possono essere commercializzati in tutti i paesi della Comunità Europea ed i “concimi nazionali” che soddisfano solo i requisiti della legge italiana e possono essere commercializzati, quindi, solo sul territorio nazionale.

Nei Box 4.1, 4.2 e 4.3 sono riportate alcune caratteristiche dei concimi.

Nei sistemi orticoli, un razionale impiego dei mezzi tecnici, in particolare dei concimi, è il presupposto essenziale per raggiungere adeguati obiettivi produttivi, qualitativi ed economici, nel rispetto dell'ambiente. In tal senso, la scelta del concime più idoneo a ciascuna situazione tecnico-culturale è fondamentale e richiede un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei concimi utilizzabili. L'elevato numero di prodotti disponibili sul mercato, sebbene garantisca la possibilità di fare fronte a qualsiasi esigenza tecnica, spesso può rendere complicata questa scelta. Da qui la necessità di classificare i concimi in gruppi omogenei. Seguendo i criteri di classificazione previsti dalla legge nazionale è possibile distinguere:

- concimi a base di elementi nutritivi principali: azoto (N), fosforo (P) e potassio (K);
- concimi a base di elementi nutritivi secondari: calcio (Ca), magnesio (Mg) e zolfo (S);
- concimi a base di microelementi: boro (B), ferro (Fe), manganese (Mn), molibdeno (Mo), rame (Cu) e zinco (Zn), essenziali alle piante in quantità esigue in confronto a quelle dei macronutrienti primari e secondari.

Concentrando l'attenzione sugli elementi nutritivi principali, è possibile raggruppare i concimi in funzione di: 1) presenza o meno di carbonio organico, 2) numero di elementi nutritivi contenuti; 3) elemento/i nutritivo/i contenuto/i (Tab. 4.1).

I concimi azotati possono essere ulteriormente distinti in funzione della forma chimica dell'N: ammoniacale, nitrica, nitrico-ammoniacale o ammidica (Tab. 4.2.). La forma chimica dell'N è senza dubbio uno dei principali fattori in grado di influenzare le dinamiche di assorbimento da parte della pianta ed i processi di trasformazione che avvengono nel suolo, influenzando conseguentemente anche l'entità dei rischi di perdita dell'N dal sistema suolo-pianta, attraverso processi di lisciviazione, denitrificazione e volatilizzazione, determinando in definitiva l'efficienza d'uso dell'N dell'intero sistema colturale.

Tabella 4.1. Classificazione dei concimi contenenti i macronutrienti primari.

Presenza/assenza di carbonio organico	Numero di nutrienti contenuti	Nutrienti contenuti
Concimi minerali	Semplici	N; P, K
	Binari	NP; NK; PK
	Ternari	NPK
Concimi organici	Semplici	N
	Binari	NP
Concimi organo-minerali	Semplici	N
	Binari	NP; NK
	Ternari	NPK

Proprio al fine di migliorare l'efficienza d'uso dell'N, notoriamente bassa in molti sistemi colturali, accanto allo sviluppo delle cosiddette Buone Pratiche Agricole e di strumenti per la gestione sito-specifica della concimazione, un'attenzione particolare è stata dedicata allo sviluppo di nuovi fertilizzanti, definiti 'non a pronto effetto' o più comunemente 'a lento rilascio', in grado di modulare la cessione dei nutrienti nel tempo. Si tratta di fertilizzanti che, preparati utilizzando approcci e tecnologie diverse, sono in grado di rendere disponibile l'N, in forma assimilabile dalle piante, gradualmente nel tempo e potenzialmente in sincronia con la domanda di N della coltura, riducendo così i rischi di perdita dell'N dal sistema suolo-pianta e aumentando la sua efficienza d'uso. Da ciò derivano gli appellativi di 'concimi ad efficienza migliorata' (*enhanced efficiency fertilizers*) o di 'concimi amici dell'ambiente' (*environmentally friendly fertilizers*), spesso usati per indicare questi concimi.

La legislazione italiana considera solo in parte questa categoria di fertilizzanti includendo, tra i prodotti ad azione specifica, gli inibitori e i ricoprenti e tra i concimi azotati i concimi a lento rilascio. Inoltre, la continua introduzione sul mercato di nuovi prodotti non a pronto effetto o ad efficienza d'uso migliorata, associata all'utilizzo di termini ambigui, all'assenza di adeguate tecniche di caratterizzazione di questi prodotti e alla conseguente non chiara definizione degli stessi a livello legislativo, spesso disorienta gli agricoltori, ostacolando l'uso corretto di questi mezzi tecnici. Infatti, i fertilizzanti ad efficienza d'uso migliorata comprendono un'ampia gamma di prodotti, che è possibile distinguere in:

- concimi a lento rilascio (*slow release fertilizers*): rilasciano i nutrienti, in forma disponibile per le piante, più lentamente dei normali concimi solubili (tuttavia, la velocità di rilascio dei nutrienti non è ben controllata);
- concimi ricoperti o a rilascio controllato (*coated or controlled release fertilizers*): cedono

i nutrienti, in forma disponibile per le piante, più lentamente dei normali concimi solubili, in funzione di fattori noti e controllabili durante il processo di produzione degli stessi fertilizzanti;

- concimi stabilizzati (*stabilized fertilizers*): ammendati con additivi che rallentano i processi di trasformazione dei composti nutritivi, prolungandone la disponibilità nel suolo.

Ciascuna categoria di fertilizzanti ad efficienza d'uso migliorata comprende una serie di prodotti con caratteristiche fisico-chimiche ben definite che sono responsabili dello specifico meccanismo di rilascio dei nutrienti. Tuttavia, l'efficacia di questi fertilizzanti è spesso molto variabile poiché interagiscono con una serie di fattori ambientali, biologici e abiotici che caratterizzano ciascun sistema colturale. Pertanto, l'applicazione di fertilizzanti non a pronto effetto, sebbene non richieda particolari competenze da parte dell'agricoltore, in quanto la tecnologia è integrata nel prodotto stesso, può determinare un effettivo miglioramento dell'efficienza d'uso dell'N solo se è accompagnata da un'adeguata conoscenza dei diversi meccanismi di azione e dei fattori che regolano il rilascio dei nutrienti.

Tabella 4.2. Principali concimi azotati classificati in funzione della forma chimica dell'azoto.

Forma chimica dell'azoto	Concime	Titolo (% N)
Ammoniacali	Solfato ammonico	20-21
	Ammoniaca anidra	82
	Soluzioni ammoniacali	10-20
	Soluzioni di tiosolfato di ammonio	12
Nitrici	Nitrato di calcio	15,5
	Nitrato di magnesio	11
	Nitrati di calcio e magnesio	13
	Nitrato di sodio	15-16
	Solfonitrato di magnesio	19
	Nitrato del Cile	15-16
Nitrico-ammoniacali	Nitrato ammonico	26-27
	Solfonitrato ammonico	25
	Stickstoff-magnesia	19
Ammidici	Urea	46
	Calciocianamide	25

Concimi a lento rilascio

Una delle principali cause della perdita di N nel suolo è rappresentata dall'eccessiva solubilità dei normali concimi minerali. Pertanto, una delle strategie per ridurre le perdite di N

per lisciviazione consiste nel diminuire la solubilità dei concimi attraverso la produzione di composti condensati a bassa solubilità. Si tratta di composti derivanti da reazioni di condensazione e successiva polimerizzazione dell'urea (concime caratterizzato da basso costo ed elevato titolo in N, 46%) con diversi composti aldeidici. Esempi di concimi a lento rilascio più comunemente utilizzati sono l'urea-formaldeide (UF), l'isobutilidendiurea (IBDU), la crotonilidendiurea (CDU) e l'urea triazone (UT).

La solubilità in acqua di questi prodotti è inversamente proporzionale al grado di polimerizzazione delle molecole, e la miscela di frazioni con diverso peso molecolare può essere usata per modulare la velocità di rilascio dell'N in funzione della curva di asportazione della coltura considerata. Ad esempio, nel caso dell'urea-formaldeide, in funzione delle condizioni in cui avviene la reazione tra urea e formaldeide, è possibile ottenere monomeri solubili in acqua fredda, piccoli polimeri solubili in acqua calda o ancora polimeri ad elevato peso molecolare a bassissima solubilità (Figg. 4.1 e 4.2).

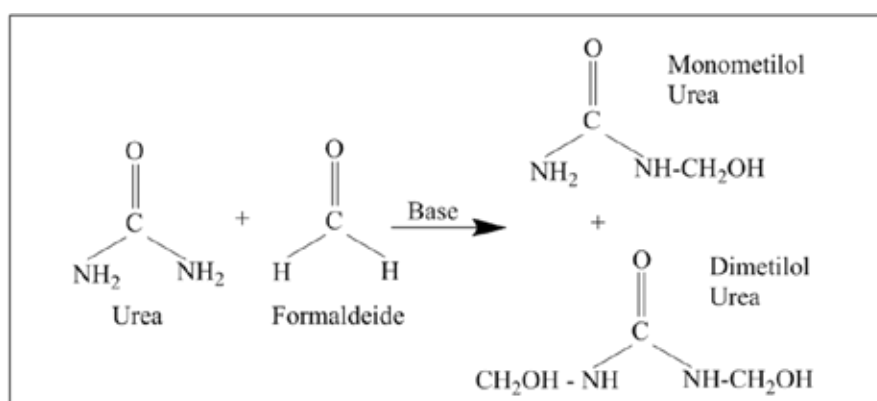


Figura 4.1. La reazione tra urea e formaldeide in ambiente basico porta alla produzione di composti solubili in acqua fredda.

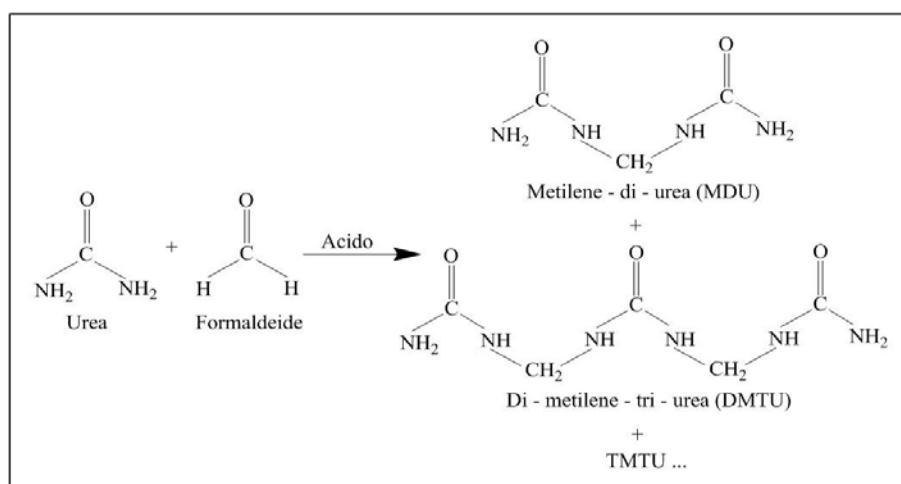


Figura 4.2. La reazione tra urea e formaldeide in ambiente acido porta alla produzione di composti con un maggiore grado di polimerizzazione (dimeri, trimeri, polimeri) e quindi meno solubili.

Un altro importante fattore che influenza il rilascio di N dai concimi a lento rilascio è l'attività microbiologica del suolo. Di conseguenza, tutte le variabili (pH, temperatura, umidità e tessitura del suolo) che influenzano l'attività microbica del suolo, condizionano indirettamente anche il rilascio di N. Ad esempio, un incremento di temperatura determina, in genere, un aumento dell'attività microbica, accelerando conseguentemente il rilascio di N in forma assimilabile dalle piante.

Pertanto, l'uso di concimi a lento rilascio deve tener conto delle variazioni stagionali della temperatura del suolo e del fatto che questo fattore, difficilmente controllabile, può causare un rapido rilascio di nutrienti e un indesiderato rilascio di N solo al termine del ciclo colturale.

Concimi ricoperti o a rilascio controllato

Un altro approccio utilizzato per rallentare o regolare il rilascio di N in forma assimilabile dalle piante è la ricopertura dei granuli di concime, generalmente costituiti da urea, con materiali semipermeabili, che fungono da barriera tra il concime e l'ambiente esterno. I principali materiali ricoprenti utilizzati, i quali regolano il rilascio di N solubile dall'interno del granulo verso l'esterno in funzione delle specifiche caratteristiche fisico-chimiche (materiale inorganico o organico, grado di permeabilità, solubilità, spessore), sono i seguenti: 1) zolfo (S) (*sulphur coated urea*); 2) polimeri di sintesi (*polymer coated urea*); 3) miscele di S e polimeri (*polymer-sulphur coated urea*).

In considerazione del suo basso costo e della contemporanea funzione nutritiva, lo S rappresenta uno dei materiali ricoprenti più utilizzati. Lo strato di S, generalmente, è ricoperto da una patina di cera (Fig. 4.3). Il rilascio di N nei concimi ricoperti con S avviene principalmente per diffusione attraverso micro-pori, fori e spaccature dello strato di S, già presenti nella membrana ricoprente o creati dalla pressione osmotica all'interno del granulo o in seguito alla degradazione microbica.

Quindi, i principali fattori che influenzano il rilascio di N sono: i) la qualità della membrana ricoprente, determinata dall'uniformità e dallo spessore della stessa; 2) l'umidità del suolo, che può favorire o meno la solubilizzazione del granulo di urea; 3) la temperatura del suolo, che influenza l'attività microbica e quindi la degradazione della membrana di S e dell'urea.

I concimi ricoperti con S sono generalmente composti da tre tipi di granuli: a) granuli con membrana ricoprente spaccata; b) granuli in cui gli spacchi della membrana sono ricoperti da cera; c) granuli con membrana ricoprente perfetta e spessa. La prima frazione, entrando in contatto con l'acqua nel terreno, rilascia l'urea immediatamente, determinando il fenomeno definito "rilascio catastrofico", con il rischio di determinare un improvviso incremento di conducibilità elettrica nella soluzione circolante del terreno e conseguente stress salino per la coltura. D'altra parte, la frazione dei granuli perfettamente ricoperti potrebbe rilasciare l'urea molto lentamente o solo dopo la conclusione del ciclo colturale determinando una minore efficienza d'uso dell'N e minori rese.

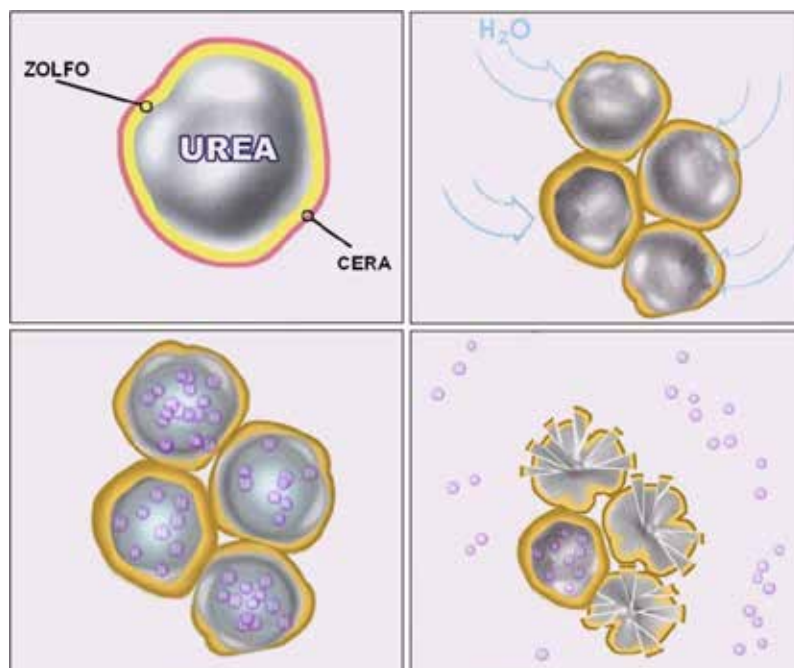


Figura 4.3. Meccanismo di rilascio dell'azoto dall'urea ricoperta con zolfo e cera.

Più recentemente, a causa dei limiti della ricopertura di solfo, i produttori lo hanno sostituito in parte o totalmente con altri materiali (di natura organica o inorganica, idrofili o idrofobi) quali ad esempio resine (resine alchiliche, poliuretano), polimeri termoplastici (polietilene, etilene vinil acetato, cloruro di polivinile, poli-acrilamide, gomma naturale, acido polilattico) e molti altri, ancora in via di sviluppo, come i polimeri di gel idrofili (Fig. 4.4).

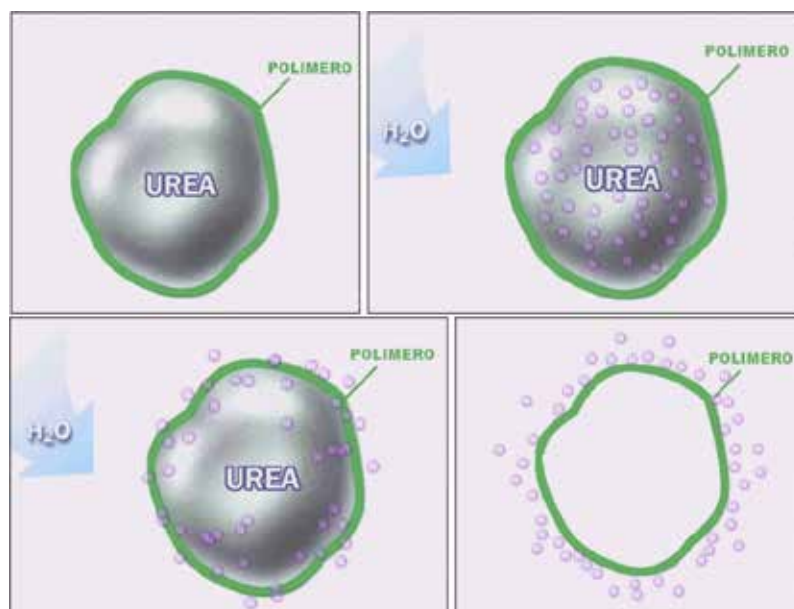


Figura 4.4. Meccanismo di rilascio dell'azoto dall'urea ricoperta con polimero semipermeabile.

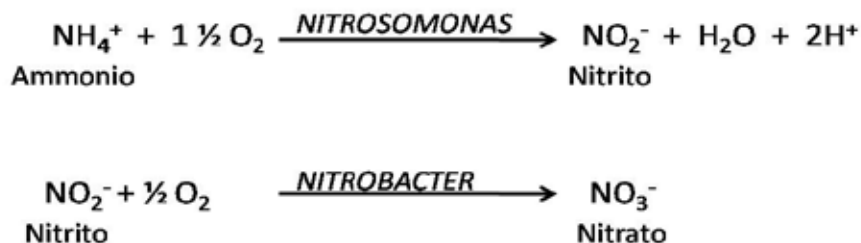
Questi nuovi materiali ricoprenti garantiscono un rilascio di N più accurato, che può essere controllato attraverso un'adeguata selezione e combinazione di materiali caratterizzati da diversi livelli di permeabilità all'acqua, determinando quindi la rapidità di solubilizzazione e diffusione dell'urea attraverso la membrana semipermeabile. La varietà di materiali ricoprenti oggi disponibili consente di progettare con i computer concimi a rilascio controllato in grado di cedere i nutrienti in sincronia con le fasi di crescita e quindi con la domanda di N da parte della coltura, con conseguente sostanziale miglioramento dell'efficienza d'uso dell'N. Tuttavia, l'utilizzo di polimeri di sintesi poco degradabili può portare ad un indesiderato accumulo di materiali plastici in campo.

Concimi stabilizzati

Questo ampio gruppo di concimi ad efficienza d'uso migliorata comprende una serie di prodotti in cui l'ammonio o l'urea sono 'stabilizzati' o 'ammendati' con inibitori, che possono essere di due tipi: inibitori della nitrificazione ed inibitori dell'ureasi.

Inibitori della nitrificazione

Sono composti ad azione specifica ideati per limitare le perdite di N per lisciviazione e denitrificazione. Si tratta di composti in grado di ritardare l'ossidazione batterica dell'ammonio (NH_4^+) limitando per un certo periodo di tempo l'attività dei batteri *Nitrosomonas*, responsabili della prima fase di trasformazione dell' NH_4^+ in N nitrico (NO_3^-).



Lo ione NO_3^- , avendo carica negativa, non è adsorbito dai colloidi argillosi e può essere soggetto a perdite per lisciviazione e denitrificazione. Invece l' NH_4^+ , avendo carica positiva, è adsorbito dai colloidi del suolo ed è sottratto ai fenomeni di lisciviazione. Per cui, il mantenimento dell'N in forma ammoniacale, attraverso inibitori della nitrificazione è in grado di rallentare o limitare la conversione di NH_4^+ in NO_3^- ad opera dei batteri *Nitrosomonas*, può limitare le perdite di N per lisciviazione e anche per denitrificazione, essendo NH_4^+ non soggetto a denitrificazione.

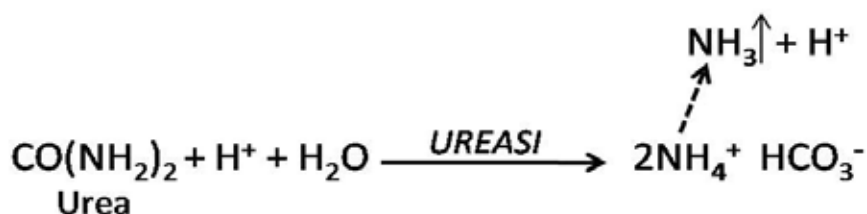
Sono stati proposti e brevettati numerosi composti come inibitori della nitrificazione, tuttavia solo pochi sono realmente utilizzati e disponibili a livello commerciale. I più importanti sono la nitrapirina, la diciandamide, l'ammonio tiosolfato e il 3,4-dimetilpirazolo-fosfato (DMPP). L'efficacia degli inibitori della nitrificazione nel migliorare l'efficienza d'uso dell'N è determinata da una serie di fattori fisici, chimici e biologici. Ad esempio, il movimento e la persistenza degli inibitori della nitrificazione nel suolo dipende dalla

solubilità in acqua degli stessi e dalla loro stabilità ad elevate temperature; ma anche il pH del suolo influenza la solubilità degli inibitori della nitrificazione, mentre il contenuto di sostanza organica del suolo, influenzandone l'adsorbimento, ne influenza la mobilità e l'attività.

L'efficacia degli inibitori della nitrificazione è influenzata anche dal livello di attività dei batteri che operano la nitrificazione, che a sua volta è influenzata dalla tessitura e temperatura del suolo. Generalmente, gli inibitori della nitrificazione sono più efficaci in suoli a tessitura leggera, basso contenuto di sostanza organica e bassa temperatura; viceversa, sono meno efficaci in terreni pesanti, con elevato contenuto di sostanza organica e temperature elevate. Considerando tutti questi aspetti, è evidente che l'efficacia degli inibitori della nitrificazione può variare molto da un sito all'altro e da una stagione all'altra; perciò, è necessaria un'adeguata conoscenza del meccanismo di azione di ciascun inibitore della nitrificazione. È importante sottolineare che l'utilizzo degli inibitori della nitrificazione può determinare incrementi di produzione ed evidenti benefici per l'ambiente solo in suoli caratterizzati da elevati rischi di perdite di N per lisciviazione o denitrificazione e nei casi in cui l'N non è applicato in eccesso.

Inibitori dell'ureasi

Sono prodotti ad azione specifica ideati per prevenire e ridurre le perdite di N per volatilizzazione. L'urea rappresenta la principale fonte di N, a livello mondiale. Nel terreno, mediante l'ureasi (enzima ubiquitario), l'urea è idrolizzata in ammoniaca (NH₃) ed anidride carbonica (CO₂), determinando un aumento di pH e rendendo disponibile l'N in forma ammoniacale o, per successive trasformazioni, in forma nitrica.



Nonostante l'elevato numero di composti potenzialmente utilizzabili come inibitori dell'ureasi, solo pochi di essi sono commercialmente disponibili garantendo efficacia a bassa concentrazione, stabilità e relativo basso costo. L'unico inibitore dell'ureasi diffuso a livello commerciale è l'N-(n-butil) tiofosforico triamide (NBPT), efficace a basse concentrazioni (0,01% dell'urea applicata) e capace di rallentare l'idrolisi dell'urea e ridurre le perdite per volatilizzazione in diversi suoli. L'NBPT, oltre a ridurre le perdite di N per volatilizzazione, può ridurre i danni alle piantine, quando ad esempio le dosi di urea distribuite vicino ai semi o alle piantine sono eccessive. Tuttavia, è importante che l'NBPT non sia applicato quando sono previste piogge imminenti, in quanto l'urea sarebbe trasportata al di sotto della superficie del suolo, impedendo di fatto l'attività dell'inibitore dell'ureasi.

4.3. IL PIANO DI CONCIMAZIONE DELLE COLTURE A TERRA³

Predisporre un piano di concimazione significa determinare le quantità e la forma chimica degli elementi nutritivi, quindi dei concimi, da distribuire alla coltura, in pre-impianto e/o in copertura, nell'ottica di una massimizzazione dell'efficienza d'uso dei nutrienti. La redazione del piano di concimazione è di solito consigliata dai disciplinari di produzione integrata (DPI), mentre è obbligatoria nelle colture realizzate nelle cosiddette zone vulnerabili ai nitrati (ZVN; Direttiva Nitrati C.E. n. 91/676). Nel secondo caso, il Piano di Azione riporta talvolta anche il metodo per determinare le dosi di nutrienti da distribuire alla coltura.

I nutrienti che maggiormente limitano la produzione agraria sono il P, il K e prima ancora l'N ed è per questo motivo che spesso i piani di concimazione considerano soltanto questi tre elementi. L'analisi del terreno, che è sempre necessaria per un calcolo corretto delle quantità di concimi da distribuire alla coltura, potrebbe rendere necessario anche la somministrazioni di altri nutrienti, come spesso succede nelle colture intensive, ad es. in serra.

La tipica risposta produttiva di una coltura alla concentrazione di un elemento nutritivo nel terreno è rappresentata nella Fig. 4.5. La produzione aumenta con la concentrazione del nutriente nel mezzo di crescita fino ad un certo valore (concentrazione ottimale); oltre questo livello, la produzione non aumenta più (consumi di lusso) o addirittura diminuisce a causa della tossicità dell'elemento stesso e/o dell'eccessiva salinità determinata da una concimazione troppo abbondante. La concentrazione ottimale è quella che consente la massima produzione della coltura in un determinato contesto pedologico, climatico e agronomico. Ad es. per lo spinacio coltivato in Val di Cornia (Livorno), diverse prove condotte per quattro anni consecutivi nell'ambito del progetto AZORT hanno evidenziato un valore ottimale della concentrazione di N minerale (N_{MIN}) di circa 23 mg/kg (terreno secco).

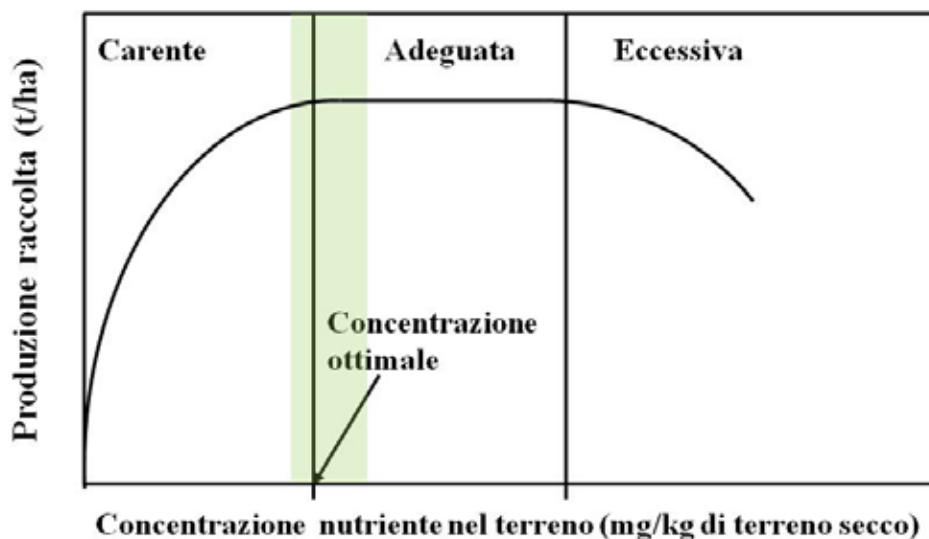


Figura 4.5. La relazione tra la produzione di una coltura e la disponibilità degli elementi nutritivi nel terreno.

³ D. Massa e L. Incrocci

Box 4.4. I nutrienti (N, P e K) nel terreno

Le principali forme di N presenti nel terreno sono le seguenti:

- 1) N organico: rappresenta il 95-99% dell'N totale nel terreno; costituisce mediamente il 5% della sostanza organica del terreno; non è direttamente disponibile per le piante;
- 2) N minerale (N_{MIN}): è il 1-5% dell'N totale presente nel terreno, è costituito principalmente dal nitrato (NO_3^-) e dall'ammonio (NH_4^+); rappresenta l'N disponibile nel breve periodo e per colture brevi, come gli ortaggi da foglia, è di fatto l'unica forma di N disponibile per la coltura. La forma nitrica, a differenza di quella ammoniacale, è facilmente dilavabile e quindi la sua concentrazione nel terreno è molto influenzata dalla pluviometria e dalle irrigazioni (Cap. 2). La concentrazione di N ammoniacale nella soluzione circolante nel terreno è in genere più bassa di quella del nitrato.

Per quanto riguarda il P, le forme presenti nel terreno sono:

- 1) P organico: rappresenta dal 30 al 50% del P totale presente nel suolo ed è quello presente nella sostanza organica, che ne contiene mediamente lo 0.5%. (espresso come P)
- 2) P inorganico: si trova nel terreno in massima parte trattenuto fortemente dal potere adsorbente del terreno (superficie dei colloidi elettropositivi, complessi argillo-umici) e in piccola parte disciolto nella soluzione circolante, dove la sua concentrazione oscilla fra 0,01 e 8 mg/L.

Il P è difficilmente lisciviabile. La sua solubilità è in funzione soprattutto del pH. Infatti, nei terreni fortemente acidi il P forma complessi insolubili con gli idrossidi di Fe e Al, cioè fosfati di Fe e Al. Nei terreni tendenzialmente neutri, il P è prevalentemente presente sotto forma di fosfato monocalcico ($Ca(H_2PO_4)_2$) e bicalcico ($CaHPO_4$), mentre nei terreni basici e calcarei il P tende a precipitare come fosfato tricalcico $Ca_3(PO_4)_2$ (retrogradazione). La valutazione della disponibilità del P assimilabile per le piante è fatta generalmente utilizzando il metodo di Olsen, che prevede un'estrazione del campione con bicarbonato di sodio ed è adeguato per quasi tutti i tipi di terreno. Nei terreni acidi, però, è consigliabile il metodo di Bray-Kurt; in questo caso, l'estrazione è effettuata con una miscela di fluoruro di ammonio e di acido cloridrico).

Al contrario di N e P, il K è presente nel terreno quasi esclusivamente in forma minerale (come ione K^+) o incorporato, sempre come ione, nella sostanza organica dei residui culturali. Il K minerale è presente in varie forme, non tutte disponibili per l'assorbimento radicale:

- 1) K nativo: rappresenta il 90-98% del K totale nel terreno; entra nella costituzione dei reticoli cristallini dei minerali primari e secondari; non è scambiabile con la soluzione circolante nel terreno e quindi non è disponibile nel breve-medio periodo per le piante.
- 2) K fissato: rappresenta 1-10% del K totale; trova negli spazi interstrato dei minerali secondari (es. vermiculiti) e non è scambiabile. Nei terreni ricchi di argilla, parte della concimazione distribuita tende ad essere immobilizzata nei colloidi e quindi sottratta all'assorbimento della coltura;
- 3) K scambiabile: è adsorbito sulla superficie dei colloidi, è in equilibrio con la frazione solubile e di norma non supera l'1% del K totale; alcune piante riescono ad assorbirlo.
- 4) K solubile: è quello disciolto nella soluzione circolante nel terreno, in equilibrio con il K scambiabile; è la forma assorbita normalmente dalle radici.

Quindi, il K è un elemento poco mobile, trattenuto dal potere adsorbente del terreno; tuttavia nei terreni sabbiosi e/o con una ridotta capacità di cambio cationico, una frazione importante del K distribuito con i concimi può essere persa per lisciviazione.

Con la concimazione di arricchimento, si ripristina il livello di elementi nutritivi considerato ottimale, mentre con la concimazione di mantenimento (o di produzione) si apportano le quantità di nutrienti corrispondenti alle perdite (stimate) legate alle asportazioni da parte della coltura (le quantità sottratte al terreno con la raccolta) e ai fenomeni di lisciviazione, volatilizzazione ecc., in modo da mantenere inalterata la fertilità iniziale del terreno. Le Tab 4.3 e 4.4 riportano la classificazione dei terreni in base al contenuto di N (totale e minerale), P (assimilabile) e K (scambiabile). Nelle tabelle e nel resto del paragrafo, il contenuto di P e K è sempre espresso in P_2O_5 e K_2O , come per il titolo dei concimi.

Tabella 4.3. Valutazione del contenuto minerale di azoto totale, azoto minerale (N_{MIN} , somma dell'azoto presente sotto forma nitrica e ammoniacale) e fosforo assimilabile (determinato secondo il metodo Olsen o quello di Bray-Kurtz) in un terreno.

Dotazione	N totale (g/kg)	N minerale (mg/kg)	P_2O_5 assimilabile met. Olsen (mg/kg)	P_2O_5 assimilabile met. Bray-Kurtz (mg/kg)
Molto bassa	0,5	<10	<20	<23
Bassa	0,5-1,0	10-15	20-40	23-46
Media	1,0-1,5	15-20	40-60	46-69
Ben dotato	>1,5	>20	>60	<69

Tabella 4.4. Valutazione della dotazione in potassio scambiabile di un terreno in base alla tessitura e della capacità di scambio cationico.

Dotazione	K_2O scambiabile (mg/kg)		
	T. sabbioso CSC<10 meq/100g	T. franco CSC=10-20 meq/100g	T. argilloso CSC>20 meq/100g
Molto bassa	<50	<70	<100
Bassa	50-100	70-120	100-140
Media	100-140	120-180	140-220
Elevata	>140	>180	>220

Il metodo proposto in questo paragrafo è un compromesso tra la necessità di un calcolo accurato delle dosi di nutrienti da distribuire alla coltura e la facilità di applicazione da parte dei coltivatori. Per facilitare il calcolo è stato sviluppato un foglio Excel, CAL-FERT, brevemente illustrato nel Box 4.6. Questo software implementa modelli (equazioni) per la stima degli apporti e delle perdite degli elementi nutritivi in una coltura, tutti riportati in letteratura. L'uso di modelli più complessi (ad es. per fenomeni difficili da simulare come la mineralizzazione dei residui colturali) non necessariamente produce un piano di concimazione

più accurato, in quanto essi richiedono numerosi parametri e la loro performance dipende dall'accuratezza con la quale questi parametri sono misurati o scelti, quando non sono noti.

Per il calcolo delle dosi di N, P₂O₅ e K₂O da apportare con la concimazione, CAL-FERT richiede i risultati di un'analisi del terreno effettuata da non più di due mesi prima dell'impianto della coltura. In particolare, sono richiesti: il contenuto di sostanza organica, N totale e N_{MIN}, P₂O₅ assimilabile, K₂O scambiabile e calcare totale; il C/N; la tessitura.

Calcolo della dose di concimazione

Per facilitare la lettura, i simboli e le abbreviazioni usate di seguito sono riassunti nella Tab. 4.5.

La quantità totale di un determinato nutriente X da somministrare alla coltura comprende una dose di arricchimento e una di mantenimento. La dose di arricchimento è pari alla differenza fra la quantità ottimale di X nello strato esplorato dalle radici (X_{Sopt}, kg/ha; Tab. 4.3 e 4.4) e quella effettivamente rilevata con le analisi (X_S, kg/ha). Per l'N si considera solo N_{MIN}. La dose di mantenimento deve invece soddisfare le esigenze nutritive delle piante lasciando sui livelli ottimali la concentrazione dei nutrienti nel terreno alla fine della coltura. Se la differenza X_{Sopt} - X_S è negativa, si ha evidentemente un *surplus* di nutriente che può essere assorbito dalla coltura senza riflessi negativi sulla fertilità del terreno, riducendo così la dose di mantenimento. Per la determinazione della dose di mantenimento è necessario stimare sia le perdite sia gli apporti (diversi dalla concimazione della coltura in esame) dei nutrienti – entrambi espressi in kg/ha - nel periodo compreso fra il campionamento del terreno per l'analisi e la fine della coltura.

Tra le perdite troviamo:

- le asportazioni della coltura (X_A);
- le perdite per lisciviazione (X_L, solo per N_{MIN} e K);
- le perdite per volatilizzazione e denitrificazione (X_{VD}, solo per l'N).

Gli apporti sono invece costituiti dagli elementi nutritivi:

- resi disponibili a seguito della mineralizzazione della sostanza organica del terreno (X_{SO}, solo per N e P) e della decomposizione dei residui aerei (X_{RCA}) e radicali (X_{RCR}) delle colture precedenti (X_{RCA}) o dei concimi organici (X_{CO}) distribuiti in un periodo compreso tra un anno prima dell'analisi del terreno e la fine della coltura;
- apportati con le piogge e/o con le irrigazioni (X_{PI}).

La dose complessiva di un determinato nutriente (X_F) può essere calcolata con l'Eq. 4.1, che considera anche i fenomeni di insolubilizzazione del P (retrogradazione) e del K (fissazione) apportati con i concimi:

$$X_F = [(X_{Sopt} - X_S) + X_A - (X_{SO} + X_{RCA} + X_{RCR} + X_{CO} + X_{PI}) + (X_{VD} + X_L)] \cdot (1 + kX_{INS}) \quad \text{Eq. 4.1}$$

dove kX_{INS}, è il coefficiente di insolubilizzazione del P o del K.

Tabella 4.5. Simboli e abbreviazioni per i parametri delle diverse equazioni utilizzate per il calcolo delle dosi di nutrienti da apportare alle colture.

Simbolo o abbreviazione	Unità di misura	Descrizione
a	adimensionale	Frazione del K potenzialmente lisciviabile rispetto al K scambiabile
b	adimensionale	Coefficiente utilizzato nel calcolo dei nutrienti apportati con la concimazione organica; è pari a 0 o 1 se la concimazione organica avviene, rispettivamente, prima o dopo l'analisi del terreno
c	adimensionale	Coefficiente empirico (usato nel calcolo della respirazione microbica nel terreno)
C _{ARG}	%	Contenuto di argilla nel terreno
C _{CALC}	%	Contenuto totale di calcare nel terreno
CI	%	Contenuto idrico volumetrico del terreno
CI _{CC}	%	Contenuto idrico volumetrico del terreno alla capacità di campo
CO	t/ha	Quantità di concime organico distribuito alla coltura precedente o alla coltura in esame
COD _{1a}	%	Frazione del concime organico (peso tal quale) distribuito alla coltura precedente o alla coltura in esame che si mineralizza nel primo anno
COD _{start}	%	Frazione del concime organico (peso tal quale) distribuito alla coltura precedente o alla coltura in esame che rilascia immediatamente i nutrienti (effetto starter)
C _{SO}	%	Contenuto di sostanza organica nel terreno
CX _{CO}	%	Titolo del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nel concime organico (peso tal quale) distribuito alla coltura precedente o che si prevede di somministrare alla coltura in esame
CX _{HUM}	kg/kg	Contenuto del nutriente X (N e P espresso come P ₂ O ₅ nell'humus del terreno)
CX _{RCA}	kg/t	Concentrazione del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nei residui aerei della coltura in esame, espresso per tonnellata di prodotto raccolto
CX _{RCR}	kg/t	Concentrazione del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nei residui radicali della coltura in esame, espresso per tonnellata di prodotto raccolto
CX _{RCACP}	kg/t	Concentrazione del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nei residui aerei, espresso per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura precedente a quella in esame
CX _{RCRCP}	kg/t	Concentrazione del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nei residui radicali, espresso per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura precedente a quella in esame
CX _S	mg/kg	Concentrazione del nutriente X (N _{MIN} , P ₂ O ₅ assimilabile e K ₂ O scambiabile) nel terreno
CX _{Sopt}	mg/kg	Concentrazione ottimale del nutriente X (N _{MIN} , P ₂ O ₅ assimilabile e K ₂ O scambiabile) nel terreno
CSS _{RCACP}	kg/t	Quantità di sostanza secca dei residui aerei, espressa per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura precedente quella in esame
CSS _{RCRCP}	kg/t	Quantità di sostanza secca dei residui radicali, espressa per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura precedente a quella in esame
CX _Y	kg/t	Concentrazione del nutriente X (N, P come P ₂ O ₅ e K come K ₂ O) espressa per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura in esame
DA	t/m ³	Densità apparente del terreno
ETE	L/m ² (mm)	Evapotraspirazione effettiva della coltura

Simbolo o abbreviazione	Unità di misura	Descrizione
ETP	L/m ² (mm)	Evapotraspirazione potenziale
I	L/m ² (mm)	Volume irriguo
k ₁	adimensionale	Frazione della sostanza organica del terreno mineralizzata in un anno
k ₂	adimensionale	Coefficiente di mineralizzazione della sostanza organica del terreno
k _C	adimensionale	Coefficiente colturale
k _{ISO}	adimensionale	Coefficiente isoumico
kX _{INS}	adimensionale	Coefficiente di in solubilizzazione (o di fissazione) del P e del K
kX _L	adimensionale	Coefficiente di lisciviazione del nutriente X (N e K espresso come K ₂ O)
n	adimensionale	numero di decadi che intercorre fra l'analisi del terreno e la fine della coltura
N _{VDA}	kg/ha anno	Quantità di N perso per volatilizzazione e denitrificazione in un anno
P	L/m ² (mm)	Piogge
PR	m	Profondità delle radici della coltura
r _{C/N}	adimensionale	Rapporto C/N della sostanza organica nel terreno
R _{FM}	g CO ₂ /kg	Tasso di respirazione della flora microbica nel terreno
SSD _{RCACP}	kg/ha	Quantità di sostanza secca dei residui aerei della coltura precedente decomposta in un determinato periodo
SSD _{RCRCP}	kg/ha	Quantità di sostanza secca dei residui radicali della coltura precedente decomposta in un determinato periodo
T _A	°C	Temperatura media dell'aria
T _S	°C	Temperatura media del terreno
X _A	kg/ha	Quantità di nutriente (N, P come P ₂ O ₅ e K come K ₂ O) assorbita dalla coltura
X _{CO}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) apportato con le concimazioni organiche
X _F	kg/ha	Dose complessiva del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) da distribuire alla coltura
X _{FMRACAP}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N e P espresso come P ₂ O ₅) immobilizzato a causa della crescita della flora microbica del terreno derivante dalla decomposizione dei residui aerei della coltura precedente a quella in esame
X _{FMRRCRP}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N e P espresso come P ₂ O ₅) immobilizzato a causa della crescita microbica derivante dalla decomposizione dei residui radicali della coltura precedente a quella in esame
X _L	kg/ha	Quantità di nutriente (N e K espresso come K ₂ O) persa per lisciviazione
X _{PI}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) apportata con le piogge e/o l'irrigazione
X _{PL}	kg/ha	Quantità di nutriente (N e K espresso come K ₂ O) potenzialmente lisciviabile
X _{RCACP}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) apportato dai residui aerei della coltura precedente a quella in esame
X _{RCRCP}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) apportato dai residui radicali della coltura precedente a quella in esame
X _S	kg/ha	Quantità del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nella zona radicale, determinata con l'analisi chimica del terreno prima dell'impianto della coltura
X _{Sopt}	kg/ha	Quantità ottimale del nutriente X (N, P espresso come P ₂ O ₅ e K espresso come K ₂ O) nella zona radicale
X _{SO}	kg/ha	Quantità del nutriente X (N e P espresso come P ₂ O ₅) liberato dalla mineralizzazione della sostanza organica del terreno
N _{VD}	kg/ha	Quantità di N persa per volatilizzazione e denitrificazione
Y	t/ha	Produzione (<i>yield</i>) della coltura
Y _{CP}	t/ha	Produzione della coltura precedente quella in esame

Di seguito illustreremo le equazioni utilizzate da CAL-FERT per calcolare le varie grandezze dell'Eq. 4.1 per N, P₂O₅ e K₂O. Per una migliore comprensione, forniremo un esempio di calcolo relativo ad una coltura di spinacio in Toscana (Tab. 4.6).

Tabella 4.6. Parametri utilizzati per l'esempio di calcolo delle dosi di nutrienti da somministrare ad una coltura autunnale (non irrigua) di spinacio in Toscana.

Analisi del terreno		Coltura di spinacio	
Data analisi	10/09/2012	Data di semina	30/09/2012
% Sabbia	85	Data di raccolta	20/12/2012
% Argilla	5	Produzione attesa (t/ha)	15
Densità (t/m ³)	1,49	Coltura precedente:	Pomodoro industria
Calcare totale (%)	2,0	Data di raccolta	20/08/2012
S.O. (%)	1,4	Produzione attesa (t/ha)	100
C/N	10	Coltura irrigua?	Sì
N totale (g/kg)	0,7	Interramento dei residui	Sì, 30/08/2012
N-NO ₃ (mg/kg)	5,0	Concimazioni organiche	
N-NH ₄ (mg/kg)	0,0	Data concimazione	10/02/2012
P ₂ O ₅ assimilabile (mg/kg)	40,0	Tipo concime	Letame bovino
K ₂ O scambiabile (mg/kg)	103,0	Quantità (t/ha)	35

Dose di arricchimento

Sia X_{Sopt} che X_S sono calcolati in base alla profondità (PR, m) delle radici della coltura, alla densità apparente del terreno (DA, t/m³) e alla concentrazione dell'elemento ritenuta ottimale (CX_{Sopt}, mg/kg) o determinata con le analisi del terreno (CX_S, mg/kg), come segue:

$$X_{Sopt} = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CX_{Sopt} \quad \text{Eq. 4.2}$$

Lo stesso tipo di equazione si può ovviamente usare per calcolare X_S in base a CX_S.

La DA è determinata da CAL-FERT con le funzioni *pedotransfer* di Saxton e Rawls (2006).

Nel nostro esempio, ipotizzando una CX_{Sopt} di N, P_2O_5 e K_2O , rispettivamente, di 22,5, 50 e 110 mg/kg, i valori di X_{Sopt} e X_S sono i seguenti:

$$N_{Sopt} = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CN_{Sopt} = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 22,5 = 100,6 \text{ kg/ha di N}$$

$$P_{Sopt} = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CP_{Sopt} = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 50 = 223,5 \text{ kg/ha di } P_2O_5$$

$$K_{Sopt} = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CK_{Sopt} = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 110 = 491,7 \text{ kg/ha di } K_2O$$

$$N_S = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CN_S = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 5,0 = 22,4 \text{ kg/ha di N}$$

$$P_S = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CP_S = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 40 = 178,8 \text{ kg/ha di } P_2O_5$$

$$K_S = 10 \cdot PR \cdot DA \cdot CK_S = 10 \cdot 0,3 \cdot 1,49 \cdot 103 = 460,4 \text{ kg/ha di } K_2O$$

Quindi, la dose di arricchimento è pari a:

$$78,3 (100,6 - 22,4 = 78,2) \text{ kg/ha di N}$$

$$44,7 (223,5 - 178,8 = 44,7) \text{ kg/ha di } P_2O_5$$

$$31,3 (491,7 - 460,4 = 31,3) \text{ kg/ha di } K_2O.$$

Asportazioni della coltura

Una delle voci più importanti del bilancio minerale (Eq. 4.1) è costituita da X_A . Una parte degli elementi nutritivi assorbiti dalla coltura sono effettivamente asportati dal terreno con la raccolta, mentre una parte rimane temporaneamente immobilizzata nei residui colturali e sarà disponibile solo per le colture successive. Sia il rapporto fra la biomassa raccolta e quella totale (*harvest index*) sia il contenuto percentuale dei vari nutrienti nella sostanza secca variano a seconda del tipo di organo vegetale e della specie coltivata.

Per semplificare il calcolo di X_A si può moltiplicare il livello di produzione atteso (Y , t/ha) per la somma del contenuto minerale (espresso in kg per t di prodotto raccolto) nella biomassa raccolta (CX_Y) e nei residui aerei (CX_{RCA}) e radicali (CX_{RCR}):

$$X_A = Y \cdot (CX_Y + CX_{RCA} + CX_{RCR}) \quad \text{Eq. 4.3}$$

La distinzione tra i tre tipi di biomassa prodotta dalla coltura permette di stimare anche l'apporto di nutrienti legato alla decomposizione dei residui colturali delle colture precedenti. Le tabelle 4.7 e 4.8 riportano per le principali colture ortive ed erbacee, le asportazioni unitarie di N, P_2O_5 e K_2O associate alla produzione e ai residui colturali.

Nell'esempio dello spinacio, in base ai coefficienti riportati in Tab. 4.6, per una Y di 15 t/ha:

$$N_A = Y \cdot (N_Y + N_{RCA} + N_{RCR}) = 15 \cdot (3,87 + 0,34 + 0,52) = 70,95 \text{ kg/ha di N}$$

$$P_A = Y \cdot (P_Y + P_{RCA} + P_{RCR}) = 15 \cdot (1,08 + 0,10 + 0,15) = 19,95 \text{ kg/ha di } P_2O_5$$

$$K_A = Y \cdot (K_Y + K_{RCA} + K_{RCR}) = 15 \cdot (5,49 + 0,48 + 0,74) = 100,65 \text{ kg/ha di } K_2O$$

Quindi, la coltura dello spinacio assorbirà circa 71, 20 e 101 kg/ha rispettivamente di N, P_2O_5 e K_2O , ma saranno asportati con la raccolta soltanto 58 ($15 \cdot 3,87 = 58,05$), 16 ($15 \cdot 1,08 = 16,20$) e 82 ($15 \cdot 5,49 = 82,35$) kg/ha rispettivamente di N, P_2O_5 , K_2O .

Tab. 4.7. Asportazioni unitarie di N, P₂O₅ e K₂O della biomassa raccolta e dei residui colturali aerei e radicali per le principali colture orticole. Nella tabella sono anche riportati i quantitativi di sostanza secca (SS) presente nei residui colturali. Tutti i valori sono espressi in kg per tonnellata di prodotto raccolto. Fonte:rielaborato da Masoni et al., 2010.

Cultura	Asportazioni unitarie della biomassa raccolta (kg/t)			Sostanza secca e asportazioni unitarie dei residui colturali aerei (kg/t)				Sostanza secca e asportazioni unitarie dei residui colturali radicali (kg/t)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Aglio e scalogno	5,24	2,02	3,33	66,7	2,13	0,50	3,41	13,3	0,43	0,10	0,68
Anguria	0,98	0,81	1,58	17,3	0,69	0,28	0,84	11,6	0,35	0,19	0,56
Asparago	5,55	1,77	3,58	300,0	9,30	2,75	7,05	320,0	9,92	2,94	7,52
Basilico	4,28	1,28	3,58	8,89	0,48	0,14	0,40	8,89	0,48	0,14	0,40
Carciofo rifiorente	3,05	1,38	2,89	165,7	6,03	0,76	5,99	71,43	0,79	0,33	2,58
Carota	2,16	1,10	3,51	21,18	0,85	0,24	1,05	7,06	0,28	0,08	0,35
Cavolfiore	3,96	1,24	4,52	2,04	0,09	0,05	0,09	10,20	0,47	0,23	0,47
Cavolo nero	2,97	0,74	3,47	15,88	0,74	0,36	0,74	10,59	0,49	0,24	0,49
Cavolo verza	2,97	0,74	3,47	1,84	0,09	0,04	0,09	9,18	0,43	0,21	0,43
Cece	30,88	8,32	10,55	884,7	20,35	5,07	27,71	141,5	3,26	0,81	4,43
Cetriolo	1,04	0,55	1,77	11,93	0,57	0,21	0,65	5,96	0,28	0,07	0,19
Cipolla	2,28	1,34	1,73	20,00	1,00	0,18	1,02	5,00	0,25	0,05	0,26
Fagiolino	7,75	2,87	7,83	305,6	10,39	3,50	9,57	55,56	1,89	0,64	1,74
Fagiolo	11,96	4,95	12,96	133,3	6,00	1,53	4,18	42,67	1,92	0,49	1,34
Fava	8,85	2,87	3,95	62,50	0,89	0,72	1,96	31,25	0,94	0,06	0,12
Finocchio	2,74	1,15	4,13	24,48	0,69	0,29	1,03	12,24	0,34	0,14	0,52
Indivia	2,10	0,72	4,27	1,43	0,04	0,01	0,09	5,71	0,09	0,06	0,35
Lattuga	2,29	0,66	3,66	1,22	0,05	0,01	0,07	4,90	0,19	0,05	0,30
Lenticchia	41,31	10,28	11,55	896,0	20,61	8,01	24,40	143,4	4,87	1,28	3,90
Melanzana	1,95	0,75	2,82	78,00	3,51	0,81	3,99	20,75	0,93	0,21	1,06
Melone	1,46	0,81	3,75	65,67	2,63	1,05	3,01	16,42	0,66	0,20	0,40
Patata	3,68	1,27	7,34	57,50	2,31	0,44	2,77	23,00	0,37	0,17	0,73
Peperone	1,70	0,64	2,78	36,43	1,55	0,38	1,76	12,14	0,52	0,13	0,59
Pisello	9,90	2,57	3,05	268,9	12,77	3,08	8,42	48,89	2,32	0,56	1,53
Pomodoro industria	1,54	0,61	2,84	18,33	0,70	0,17	0,88	7,33	0,28	0,07	0,35
Pomodoro mensa	1,53	0,65	3,22	29,55	1,18	0,20	1,46	8,96	0,36	0,06	0,44
Porro	1,83	0,63	1,66	32,50	1,04	0,30	1,66	8,13	0,26	0,07	0,42
Prezzemolo	2,46	0,75	3,80	3,68	0,13	0,04	0,20	7,37	0,26	0,08	0,40
Radicchio o cicoria	2,16	1,08	5,06	1,63	0,04	0,02	0,10	8,16	0,22	0,11	0,52
Sedano	2,17	1,36	6,17	4,74	0,11	0,07	0,32	9,47	0,23	0,14	0,65
Spinacio	3,87	1,08	5,49	9,56	0,43	0,12	0,61	9,56	0,43	0,12	0,61
Zucchini	2,30	0,98	3,53	40,00	1,26	0,60	1,88	10,00	0,32	0,15	0,47

Tabella 4.8. Asportazioni unitarie di N, P₂O₅ e K₂O della biomassa raccolta e dei residui colturali aerei e radicali per le principali colture erbacee. Nella tabella sono anche riportati i quantitativi di sostanza secca (SS) presente nei residui colturali. Tutti i valori sono espressi in kg per tonnellata di prodotto raccolto. Fonte: rielaborato da Masoni et al., 2010.

Coltura	Asportazioni unitarie della biomassa raccolta (kg/t)			Sostanza secca e asportazioni unitarie dei residui colturali aerei (kg/t)				Sostanza secca e asportazioni unitarie dei residui colturali radicali (kg/t)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Avena	18,27	7,83	11,31	1305,	6,53	4,19	16,97	326,3	1,79	1,12	1,11
Barbabietola	1,98	0,88	3,08	55,00	1,10	0,44	1,32	5,50	0,06	0,02	0,01
Brassica carinata	34,20	16,51	9,54	1827	32,89	13,83	73,09	409,1	2,05	1,13	0,82
Brassica juncea	34,20	16,51	9,54	1827	32,89	13,83	73,09	409,1	2,05	1,13	0,82
Canapa da fibra	6,60	1,79	6,36					90,00	0,54	0,45	0,36
Colza	36,00	16,93	21,60	1671	26,74	12,70	40,11	385,7	2,31	1,06	0,77
Dactylis glomerata	20,40	4,68	13,01					127,5	1,15	0,29	0,26
Erba medica	27,03	5,85	18,70					127,5	2,93	0,88	0,77
Farro	19,14	9,31	10,44	1616	8,08	4,04	17,77	372,9	2,05	1,11	1,19
Fava	8,85	2,87	3,95	62,50	0,89	0,72	1,96	31,25	0,94	0,06	0,12
Favino	7,20	1,47	4,80					30,00	0,69	0,21	0,18
F. arundinacea	18,70	4,68	13,01					127,5	1,15	0,29	0,26
Fleolo	19,55	7,80	21,25					127,5	1,15	0,29	0,26
Fumento duro	20,01	8,98	10,44	1305	6,53	2,61	14,36	326,2	1,79	0,97	0,98
Fumento tenero	19,14	9,18	5,22	1305	6,53	3,29	18,27	326,3	1,79	0,97	0,98
Girasole	29,70	12,78	7,65	1350	13,50	8,10	31,46	337,5	3,38	1,94	4,05
Lenticchia	41,31	10,28	11,55	896,0	20,61	8,01	24,40	143,4	4,87	1,28	3,90
Loiessa	19,55	4,29	12,75					127,5	0,89	0,29	0,26
Loietto perenne	19,55	4,29	12,75					127,5	1,15	0,29	0,26
Lupinella	50,40	9,29	17,10	6024	144,5	41,44	149,4	1038	23,88	7,15	6,23
Mais	14,96	7,13	6,09	870,0	6,61	3,19	13,92	261,0	1,98	0,72	0,91
Mais (da insilato)	4,34	2,09	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00	52,50	0,40	0,14	0,18
Orzo	17,40	7,98	9,57	1305	6,53	3,89	14,36	326,3	1,79	0,90	1,04
Riso	12,90	7,89	5,16	1290	7,74	2,37	17,67	322,5	0,97	0,89	1,13
Segale	17,40	9,58	10,44	1305,	6,53	3,59	13,05	326,3	1,79	0,97	0,91
Soia	58,03	14,57	23,49	1305	22,19	8,98	18,40	326,3	7,50	1,50	0,82
Sorgo	17,40	6,70	7,83	870,0	11,31	3,19	13,05	261,0	1,83	0,72	0,91
Sulla	50,40	9,29	13,50	7281	160,2	50,10	182,1	1227	28,23	8,44	7,36
Tabacco	20,25	8,36	25,92	436,1	8,29	4,70	13,83	137,1	2,60	1,54	1,96
Trifoglio pratense	27,29	6,24	20,40					127,5	2,93	0,88	0,77
Triticale	19,58	8,87	10,44	1616	8,08	3,55	17,77	372,9	2,05	1,11	1,12
Veccia	28,05	6,24	20,40					127,5	2,93	0,88	0,77



Alla raccolta del pomodoro da industria, molti residui colturali costituiti da foglie, steli, frutti non raccolti e radici rimangono in campo e devono essere considerati nella redazione del piano di concimazione della coltura successiva in quanto possono mettere a disposizione di questa coltura quantità significative di elementi nutritivi.

Apporti provenienti dalla mineralizzazione della sostanza organica del terreno

La sostanza organica presente nel terreno è la principale riserva di N e si può suddividere in tre frazioni: 1) sostanza organica fresca derivante dagli organismi viventi presenti nel terreno e dai residui colturali della coltura precedente; è decomposta dalla flora microbica e trasformata quasi interamente nell'arco di 5-6 mesi; 2) sostanza organica di media stabilità (humus labile), il cui attacco da parte dei microorganismi è relativamente lento; 3) humus stabile, costituito dalla sostanza organica decomposta molto lentamente, con un tasso annuo di mineralizzazione in genere inferiore a 1-2%. Le prime due frazioni rappresentano circa la metà della sostanza organica totale di un normale terreno agrario in Italia. Soltanto la mineralizzazione della sostanza organica fresca e mediamente stabile origina un apporto significativo di N e P per la coltura. La quantità di K contenuta nell'humus è minima e quindi il calcolo di K_{SO} può essere omissso.

La velocità della mineralizzazione dell'humus labile è funzione del grado di areazione (cioè della tessitura), del rapporto C/N ($r_{C/N}$; i valori ottimali sono 10-15) e della temperatura (media) del terreno (T_s). Quindi X_{SO} può essere stimata per le decadi comprese fra la data dell'analisi del terreno (n_i) e la fine della coltura (n_f) (Mary e Guérif, 1994) come segue:

$$X_{SO} = \left(10000 \cdot PR \cdot DA \cdot \frac{C_{SO}}{100} \cdot CX_{HUM} \right) \cdot k_1 \cdot \sum_{n_i}^{n_f} k_2 \quad \text{Eq. 4.4}$$

dove:

- PR è la profondità (m) del terreno interessato dalle radici, con un valore massimo di 0,3 m (la mineralizzazione è molto lenta in profondità, a causa della scarsa areazione);
- C_{SO} è il contenuto (%) di sostanza organica nel terreno;
- CX_{HUM} è la concentrazione di N e P_2O_5 nell'humus labile, pari rispettivamente a 0,05 e 0,011 kg/kg;

- k_1 è la percentuale di sostanza organica mineralizzata in un anno in funzione di $r_{C/N}$;
- k_2 è il coefficiente di mineralizzazione della sostanza organica calcolato in funzione del tipo di terreno e della sua temperatura (T_s , °C) nella decade (n) di riferimento rispetto all'intero anno (36 decadi).

CAL-FERT calcola k_1 in base all'Eq. 4.5, restringendo il campo di variazione tra 0,13 e 0,28. Questo accorgimento è stato introdotto per evitare che valori anomali (inferiori a 4 o superiori a 30) del $r_{C/N}$ inseriti dall'utente producano valori non realistici di X_{SO} .

$$k = 1 - 0,075 \cdot r_{C/N} \quad \text{Eq. 4.5}$$

Inoltre, CAL-FERT calcola k_2 per tutte le decadi comprese fra la data dell'analisi del terreno (T_i) e quella della raccolta della coltura (T_f), come segue

$$k_2(n) = 1200 \cdot \frac{0,2 \cdot (T_s)}{(C_{ARG} \cdot 10 + 200) \cdot (0,3 \cdot C_{CALC} \cdot 10 + 200)} \cdot \frac{1}{36} \quad \text{Eq. 4.6}$$

dove C_{ARG} e C_{CALC} sono rispettivamente, il contenuto (%) di argilla e calcare (totale) nel terreno, e T_s è stimato in base alla temperatura dell'aria (T_A): $T_s = T_A - 0,5^\circ\text{C}$.

Nel nostro esempio, nella prima delle 11 decadi intercorse tra l'analisi chimica del terreno e la raccolta della coltura, con una T_A media di $21,4^\circ\text{C}$, k_1 e k_2 assumono i valori seguenti:

$$k_1 = 1 - 0,075 \cdot 10 = 0,25$$

$$k_2 = 1200 \cdot \frac{0,2 \cdot (21,4 - 0,5)}{(5 \cdot 10 + 200) \cdot (0,3 \cdot 2 \cdot 10 + 200)} \cdot \frac{1}{36} = 1200 \cdot \frac{0,2 \cdot (20,90)}{(250) \cdot (206)} \cdot \frac{1}{36} = 0,00271$$

Quindi, N_{SO} e P_{SO} sono pari a:

$$N_{SO} = (10000 \cdot 0,30 \cdot 1,49 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 0,05) \cdot 0,25 \cdot 0,00271 = 2,12 \text{ kg/ha di N}$$

$$P_{SO} = (10000 \cdot 0,30 \cdot 1,49 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 0,011) \cdot 0,25 \cdot 0,00271 = 0,47 \text{ kg/ha di } P_2O_5$$

Ripetendo le operazioni per le altre 10 decadi, si ottiene un valore complessivo, rispettivamente, di 16,6 kg/ha di N e 3,6 kg/ha di P_2O_5 .

Apporti o perdite legate alla decomposizione dei residui colturali

Una volta interrati, i residui della coltura precedente a quella in esame vengono decomposti liberandone così gli elementi nutritivi: nei nostri climi, questo processo si considera concluso entro sei mesi (18 decadi) dall'interramento. Una parte di questi nutrienti (l'N soprattutto e in minor misura il P) è però nuovamente immobilizzata a causa della crescita microbica e della formazione di sostanze organiche intermedie che andranno a formare l'humus labile e l'humus stabile. Se la quantità di elementi nutritivi originati dalla decomposizione dei residui è inferiore alle necessità minerali della flora microbica, non solo

non si ha un apporto di nutrienti per la coltura, ma addirittura il contenuto di N_{MIN} e di P_2O_5 assimilabile nel terreno diminuisce in quanto questi elementi sono assorbiti dai microorganismi. Ad esempio, la paglia, che ha un elevato $r_{C/N}$, richiede per la sua decomposizione una grande quantità di N e pertanto il suo interramento ha come conseguenza una *temporanea* immobilizzazione dell’N (30-40 kg/ha).

La quantità di nutriente immobilizzata dipende, quindi, dalle caratteristiche dei residui vegetali e si può stimare attraverso la determinazione del coefficiente isoumico (k_{ISO}). Questo coefficiente rappresenta la quantità (in kg) di humus formatosi dalla distruzione di 1 kg di residui colturali. La Tab. 4.9 riporta il valore del k_{ISO} per le principali colture erbacee e ortive. Il K non viene immobilizzato nell’humus e quindi la quantità di questo elemento che si libera dalla decomposizione dei residui si considera interamente disponibile per la coltura.

La quantità di N, P_2O_5 e K_2O liberata nel terreno dai residui aerei (X_{RCACP} , kg/ha) e radicali (X_{RCRCP} , kg/ha) della coltura precedente, può essere semplicemente calcolata come la differenza fra la quantità presente nei residui interrati e quella immobilizzata nell’humus fra la data dell’analisi del terreno e la fine della coltura, considerando un periodo massimo di decomposizione di 18 decenni (Masoni *et al.*, 2010):

$$X_{RCACP} = \frac{n}{18} [CX_{RCACP} \cdot Y_{CP} - (CSS_{RCACP} \cdot Y_{CP} \cdot k_{ISO} \cdot CX_{HUM})] \quad \text{Eq. 4.7}$$

$$X_{RCRCP} = \frac{n}{18} [CX_{RCRCP} \cdot Y_{CP} - (CSS_{RCRCP} \cdot Y_{CP} \cdot k_{ISO} \cdot CX_{HUM})] \quad \text{Eq. 4.8}$$

dove:

- CX_{RCACP} e CX_{RCRCP} sono le concentrazioni di N, P_2O_5 o K_2O nei residui aerei e radicali espresso per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura (Tab. 4.7 e 4.8);
- Y_{CP} è la produzione della coltura precedente (t/ha);
- CSS_{RCACP} e CSS_{RCRCP} indicano la quantità di sostanza secca dei residui aerei e radicali espressi per tonnellata di prodotto raccolto nella coltura precedente;
- CX_{HUM} è la concentrazione di N e P_2O_5 nell’humus, pari rispettivamente a 0,05 e 0,011 kg/kg; CX_{HUM} è 0 nel caso del K;
- n è il numero di decenni, comprese fra l’analisi del terreno e la fine della coltura.

Se l’analisi del terreno è stata eseguita dopo l’interramento dei residui colturali, il valore di n deve essere ridotto del numero di decenni comprese fra la data dell’interramento dei residui e quella dell’analisi, poiché con quest’ultima si determinano anche gli elementi nutritivi già resi disponibili dalla decomposizione dei residui.

Tabella 4.9. Coefficienti isoumici per i residui vegetali delle principali colture erbacee e ortive, espressi come grammi di humus formato per grammo di residui (sostanza secca). Fonte: Masoni et al., 2010.

Colture erbacee da pieno campo	K_{ISO}	Colture ortive	K_{ISO}
Avena	0,150	Aglio e scalogno	0,135
Barbabietola da zucchero	0,250	Anguria	0,135
Brassica carinata	0,150	Asparago	0,135
Brassica juncea	0,150	Basilico	0,135
Canapa da fibra	0,150	Bietola rossa e da coste	0,135
Cece	0,140	Carciofo rifiorante e non	0,135
Colza	0,150	Carota	0,135
Dactylis glomerata	0,150	Cavolo	0,230
Erba medica	0,250	Cece	0,135
Farro	0,150	Cetriolo	0,135
Festuca arundinacea	0,150	Cipolla	0,135
Fleolo	0,150	Fagiolino	0,135
Frumento duro	0,150	Fagiolo	0,135
Frumento tenero	0,150	Fava	0,135
Girasole	0,200	Finocchio	0,135
Guado	0,200	Fragola	0,135
Lino da fibra	0,200	Indivia	0,135
Loiessa	0,150	Lattuga	0,135
Loietto perenne	0,150	Lenticchia	0,135
Lupinella	0,250	Melanzana	0,135
Mais	0,200	Melone	0,135
Orzo, segale, riso	0,150	Patata	0,220
Soia	0,250	Peperone	0,135
Sorgo	0,250	Pisello	0,240
Sulla	0,250	Pomodoro	0,135
Tabacco	0,200	Porro	0,135
Trifoglio alessandrino	0,250	Prezzemolo, sedano, spinacio	0,135
Triticale	0,150	Radicchio o cicoria	0,135
Veccia	0,250	Zucchini	0,135



Residui colturali di mais alla fine dell'inverno: la decomposizione dei residui avviene lentamente durante i mesi invernali a causa della bassa temperatura.

Nel nostro esempio, la coltura precedente (pomodoro da industria) è stata raccolta nella seconda decade di agosto del 2012, i residui aerei sono stati interrati nell'ultima decade dello stesso mese e l'analisi del terreno è stata effettuata nella prima decade di settembre. In base alle Eq. 4.7 e 4.8, le quantità di nutrienti rilasciate dai residui colturali sono:

$$N_{RCAP} = \frac{11}{18} [0,70 \cdot 100 - (18,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,05)] = 35,22 \text{ kg di N}$$

$$N_{RCRCP} = \frac{11}{18} [0,28 \cdot 100 - (7,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,05)] = 14,09 \text{ kg di N}$$

$$P_{RCACP} = \frac{11}{18} [0,17 \cdot 100 - (18,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,011)] = 8,73 \text{ kg di } P_2O_5$$

$$P_{RCRCP} = \frac{11}{18} [0,07 \cdot 100 - (7,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,011)] = 3,61 \text{ kg di } P_2O_5$$

$$K_{RCACP} = \frac{11}{18} [0,88 \cdot 100 - (18,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,0)] = 53,78 \text{ kg di } K_2O$$

$$K_{RCRCP} = \frac{11}{18} [0,35 \cdot 100 - (7,33 \cdot 100 \cdot 0,135 \cdot 0,0)] = 21,39 \text{ kg di } K_2O$$

L'apporto complessivo dei vari nutrienti da parte dei residui è pertanto di 39,3 kg di N, 12,3 kg di P_2O_5 e 75,2 kg di K_2O .

Le Eq 4.7 e 4.8 assumono che la decomposizione dei residui coltura non sia influenzata dalla stagione. In realtà, invece, il tasso di mineralizzazione dei residui colturali dipende dall'umidità e dalla temperatura del terreno, essendo più alto in primavera e in autunno e più basso in estate, a causa della minore umidità nel terreno, e in inverno, a causa delle basse temperature. In CAL-FERT, per una stima più precisa dell'elemento liberato o sottratto in seguito alla decomposizione dei residui colturali, è stato implementato un algoritmo già

utilizzato dal software WOFOST sviluppato dall'Università di Wageningen per la simulazione della crescita delle colture agrarie (www.wofost.wur.nl; Boogaard *et al.* 2011; Maracchi *et al.*, 1996).

Secondo questo modello, la massa microbica presente nel terreno usa la sostanza organica dei residui colturali come fonte di C per la respirazione e per l'incremento della propria biomassa. Si stima che circa il 16% della sostanza organica dei residui colturali sia utilizzata per la crescita della flora microbica. WOFOST utilizza l'Eq. 4.9 per stimare il tasso di respirazione microbica nel terreno (R_{FM} , espresso in g di CO_2 /kg di terreno) in funzione di T_s e dell'umidità del terreno (CI, %):

$$R_{FM} = 0,22 \cdot [(T_s + 0,00064)^{1,4425}] \cdot [1 - e^{-c \frac{CI}{100 \cdot DA}}] \quad \text{Eq. 4.9}$$

dove c è una coefficiente empirico che dipende da T_s :

$$c = 0,1737 \cdot e^{-0,119 \cdot T_s} + 0,1107 \quad \text{Eq. 4.10}$$

WOFOST calcola anche un coefficiente correttivo della decomposizione dei residui colturali pari al rapporto fra R_{CP} ai valori effettivi di T_s e CI e quello calcolato nelle condizioni di riferimento (R_{FMrif}), cioè a 20°C e con il terreno alla capacità idrica di campo (CI_{CC}) (Verbruggen, 1985). Con lo stesso approccio di WOFOST, CAL-FERT calcola le quantità di elementi mineralizzati e quelle immobilizzate nella biomassa microbica e, per differenza, le quantità apportate o, al contrario, sottratte alla coltura in seguito alla decomposizione dei residui delle colture precedenti interrati da non più di sei mesi dalla data dell'analisi del terreno. Per ogni decade, a partire dall'interramento dei residui fino al termine della coltura in esame, CAL-FERT calcola il coefficiente correttivo sopra descritto in base ai valori medi decadal di CI e T_A .

La sostanza secca dei residui colturali radicali (SSD_{RCRCP} , kg/ha) e aerei (SSD_{RCACP} , kg/ha) decomposta nella decade (n), rispettivamente, a partire dalla data di raccolta della coltura precedente e dell'interramento è calcolata con le Eq. 4.11 e 4.12 considerando un tasso potenziale giornaliero di decomposizione di 0,030 kg/kg sostanza secca (Maracchi *et al.*, 1996),:

$$SSD_{RCACP}(n) = 10 \cdot 0,030 \cdot \frac{R_{FM}}{R_{FMrif}} \cdot [(CSS_{RCACP}) \cdot Y_{CP} - \sum_{i=1}^{n-1} (SSD_{RCACP})] \quad \text{Eq. 4.11}$$

$$SSD_{RCRCP}(n) = 10 \cdot 0,030 \cdot \frac{R_{FM}}{R_{FMrif}} \cdot [(CSS_{RCRCP}) \cdot Y_{CP} - \sum_{i=1}^{n-1} (SSD_{RCRCP})] \quad \text{Eq. 4.12}$$

dove 10 sono appunto i giorni di una decade e $\sum_{i=1}^{n-1} (SSD_{RCRCP})$ e $\sum_{i=1}^{n-1} (SSD_{RCACP})$ indicano la quantità di residui colturali già decomposti fino alla decade (n-1).

Il contenuto di N e di P_2O_5 nella biomassa microbica (CX_{FM} , %) è pari, rispettivamente,

a 10% e 2,2% (sulla sostanza secca); quindi, la quantità di nutrienti immobilizzata, in ogni decade, dalla flora microbica è calcolata con l'equazione 4.13 per i residui aerei (X_{FMRCACP} , kg/ha) e con l'Eq. 4.14 per i residui radicali (X_{FMRCRCP} , kg/ha):

$$X_{\text{FMRCACP}}(n) = \left(\text{SSD}_{\text{RACP}} \cdot \frac{0,475}{1 + r_{\text{FMR/C}}} \right) \cdot \frac{\text{CX}_{\text{FM}}}{100} \quad \text{Eq. 4.13}$$

$$X_{\text{FMRCRCP}}(n) = \left(\text{SSD}_{\text{RARCP}} \cdot \frac{0,475}{1 + r_{\text{FMR/C}}} \right) \cdot \frac{\text{CX}_{\text{FM}}}{100} \quad \text{Eq. 4.14}$$

dove:

- 0,475 è il contenuto medio di carbonio della sostanza organica dei residui colturali, espresso in kg C/kg di sostanza secca;
- $R_{\text{FMR/C}}$ è il rapporto tra il carbonio utilizzato dai microorganismi per la respirazione e quello per la crescita, assunto pari a 2.

La differenza fra i nutrienti contenuti nella sostanza secca decomposta e quelli immobilizzati nella massa microbica indica la quantità di N o P_2O_5 (X_{RACP} e X_{RECP} ; kg/ha) rilasciata (differenza positiva) o immobilizzata (differenza negativa) nella decade (n):

$$X_{\text{RACP}} = \left(\text{CX}_{\text{FMRCACP}} \cdot \frac{\text{SSD}_{\text{RCACP}}}{\text{CSS}_{\text{RCACP}}} \right) - \sum_{ni}^{\text{nf}} X_{\text{FMRCACP}} \quad \text{Eq. 4.15}$$

$$X_{\text{RCRCP}} = \left(\text{CX}_{\text{FMRCRCP}} \cdot \frac{\text{SSD}_{\text{RCRCP}}}{\text{CSS}_{\text{RCRCP}}} \right) - \sum_{ni}^{\text{nf}} X_{\text{FMRCRCP}} \quad \text{Eq. 4.16}$$

Nella coltura di spinacio usata come esempio, la decomposizione ha interessato circa il 90% dei residui lasciati in campo dal pomodoro da industria con un apporto di 48,4 kg/ha di N, 12,4 kg/ha di P_2O_5 e 105,2 kg/ha di K_2O . I valori sono leggermente più alti rispetto a quelli calcolati con le Eq. 4.8 e 4.9. Se lo spinacio fosse stato preceduto dal grano, gli apporti di P_2O_5 e K_2O sarebbero stati più bassi e pari, rispettivamente, a 4,2 e 47,9 kg/ha; inoltre, ci sarebbe stata un'immobilizzazione di N di circa 44 kg/ha.

Apporti di nutrienti dalle concimazioni organiche

Le concimazioni organiche sono interventi importanti perché, oltre ad apportare elementi minerali, influenzano positivamente le caratteristiche fisiche del terreno (effetto ammendante). Gli elementi nutritivi contenuti nel concime organico si rendono disponibili in tempi diversi: una parte è rilasciata rapidamente (effetto starter) mentre il resto è rilasciato in genere entro due anni dall'interramento del concime. La Tab 4.10 riporta per alcuni concimi organici, insieme al titolo di N, P_2O_5 e K_2O , quanto di questi nutrienti è subito disponibile per la coltura oppure viene rilasciato nel primo e nel secondo anno dopo la distribuzione.

Tabella 4.10. Percentuale (sul peso tal quale) di N, P₂O₅ e di K₂O in diversi tipi di concimi organici prontamente disponibili oppure rilasciati entro il primo o il secondo anno dopo l'interramento del concime. Fonte: Masoni et al., 2010.

Concime	Titolo (%)			Frazione del contenuto nutritivo che si rende disponibile:		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	immediatamente	nel I anno	nel II anno
Compost	0,50	0,20	0,50	10,0	20,0	20,0
Letame bovino	0,50	0,30	0,60	10,0	20,0	20,0
Letame equino	0,70	0,69	0,72	10,0	20,0	20,0
Letame ovino	0,85	0,23	1,81	10,0	20,0	20,0
Letame suino	0,50	0,46	0,60	10,0	20,0	20,0
Liquame bovino	0,45	0,69	0,48	60,0	30,0	0,0
Pollina fresca	3,75	4,35	1,87	70,0	20,0	0,0
Pollina pre-essiccata	3,30	2,75	3,43	70,0	20,0	0,0

Con l'analisi del terreno sono determinati anche gli elementi rilasciati dalla decomposizione dei concimi organici distribuiti prima del campionamento, che contribuiscono eventualmente anche all'aumento del contenuto di sostanza organica (ad esempio nel caso di compost e letame). Quindi, CAL-FERT calcola solo le quantità dei nutrienti rilasciati dai concimi organici (X_{CO}, kg/ha) durante il primo anno dopo l'interramento (cioè la frazione COD_{1a}, %), ovviamente considerando solo il periodo successivo all'analisi del terreno. In altre parole, se il concime organico è stato distribuito meno di un anno prima delle analisi o addirittura tra la data del campionamento e quella dell'impianto della coltura, CAL-FERT determina soltanto la quantità di elementi ceduti nel periodo compreso tra la data dell'analisi e la data alla quale sarà trascorso un anno dall'interramento, come segue:

$$X_{CO} = 1000 \cdot CO \cdot \left(b \cdot \frac{CX_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{start}}{100} + \frac{CX_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{1a}}{100} \cdot \frac{n}{36} \right) \quad \text{Eq. 4. 17}$$

dove:

- CO è la quantità (t/ha) di concime organico distribuito;
- CX_{CO} è la concentrazione (%) di N, P₂O₅ e K₂O del concime organico distribuito alla coltura precedente;
- COD_{start} è la frazione (%) dell'elemento contenuto nel concime che è subito disponibile;
- COD_{1a} la frazione (%) dell'elemento contenuto nel concime che si rende disponibile durante il primo anno dopo l'interramento;
- b è il coefficiente che considera l'effetto starter: è 1 se la concimazione organica è effettuata dopo l'analisi del terreno, altrimenti è pari a 0.

Nel nostro esempio, che prevede l'interramento di 35 t/ha di letame bovino nella prima decade di febbraio 2012, le quantità di nutrienti apportate alla coltura di spinacio nelle 11 decadi intercorrenti fra la data dell'analisi e quella della raccolta i seguenti quantitativi:

$$\begin{aligned}
 N_{CO} &= 1000 \cdot CO \cdot b \cdot \left(\frac{CN_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{start}}{100} + \frac{CN_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{1a}}{100} \cdot \frac{n}{36} \right) = \\
 N_{CO} &= 1000 \cdot 35 \cdot (0 \cdot \frac{0,50}{100} \cdot \frac{10}{100} + \frac{0,50}{100} \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{11}{36}) = 10,7 \text{ kg/ha di N} \\
 P_{CO} &= 1000 \cdot CO \cdot b \cdot \left(\frac{CP_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{start}}{100} + \frac{CP_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{1a}}{100} \cdot \frac{n}{36} \right) = \\
 P_{CO} &= 1000 \cdot 35 \cdot (0 \cdot \frac{0,30}{100} \cdot \frac{10}{100} + \frac{0,30}{100} \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{11}{36}) = 6,4 \text{ kg/ha di P}_2\text{O}_5 \\
 K_{CO} &= 1000 \cdot CO \cdot b \cdot \left(\frac{CK_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{start}}{100} + \frac{CK_{CO}}{100} \cdot \frac{COD_{1a}}{100} \cdot \frac{n}{36} \right) = \\
 K_{CO} &= 1000 \cdot 35 \cdot (0 \cdot \frac{0,60}{100} \cdot \frac{10}{100} + \frac{0,60}{100} \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{11}{36}) = 12,8 \text{ kg/ha di K}_2\text{O}
 \end{aligned}$$

Apporti con le piogge e l'irrigazione

Questi apporti (X_{PI}) sono calcolati in base ai valori previsti della precipitazioni e della ETE della coltura, e le concentrazione dell'elemento nella pioggia e nell'acqua irrigua a disposizione. Nelle acque piovane, la presenza di N deriva dalla formazione di ossidi di N, soprattutto in occasione dei temporali; non supera generalmente 2-3 mg/L. Nelle acque piovane e nelle acque irrigue la concentrazione di P e di K è di solito irrilevante, mentre quella di N_{MIN} può superare 50 mg/L.

Nel nostro esempio, poiché lo spinacio non è una coltura irrigua, si considera solo gli apporti di N con le piogge (Tab. 4.6):

$$N_{PI} = 382 \text{ L/m}^2 \cdot 0,002 \text{ mg/L} \cdot 10000 \text{ m}^2 = 7640 \text{ g/ha} = 7,6 \text{ kg/ha di N}$$

Perdite di N per denitrificazione e volatilizzazione

La denitrificazione consiste nella progressiva riduzione del NO_3^- e del NO_2^- in composti gassosi, come l'N molecolare (N_2) o il protossido d'azoto (N_2O). La denitrificazione avviene soprattutto nel periodo invernale nei terreni umidi; nei terreni italiani, le perdite per denitrificazione oscillano fra 4 e 7 kg/ha all'anno. La volatilizzazione si ha, invece, soprattutto nel periodo estivo, quando nel terreno si forma ammoniacale (NH_3) in seguito alla distribuzione di urea e/o concimi ammoniacali e in presenza di valori elevati sia di CI che di T_s ($>25^\circ\text{C}$) del terreno; evaporando, l'acqua trascina con sé la NH_3 . Le perdite annue per volatilizzazione generalmente non superano 3-5 kg/ha.

Nelle regioni mediterranee e nei terreni gestiti secondo la buone pratiche agricola (es. interrando prontamente i concimi a base di urea), N_{VD} le perdite per denitrificazione e

volatilizzazione possono essere calcolate in base alla durata della coltura assumendo una perdita complessiva annua (N_{VDA}) di 10 kg/ha:

$$N_{VD} = N_{VDA} \cdot n/36 \quad \text{Eq. 4.18}$$

Nel nostro esempio, le perdite di N per volatilizzazione e denitrificazione nelle 11 decadi tra l'analisi del terreno (I decade di settembre) e la raccolta dello spinacio (II decade di dicembre) son pari a:

$$N_{VD} = N_{VDA} \cdot n/36 = 10 \cdot 11/36 = 3,06 \text{ kg/ha di N}$$

Perdite per lisciviazione

La lisciviazione interessa soprattutto l'N nitrico e in minor misura il K. I quantitativi di N perso per lisciviazione (possono arrivare fino a 50-60 kg/ha nelle zone e/o nelle stagioni piovose; le perdite di K sono intorno a 15-20 kg/ha. Le perdite di questi due elementi (X_L) per lisciviazione possono essere calcolate come segue:

$$X_L = X_{PL} \cdot \frac{kX_L}{100} \quad \text{Eq. 4.19}$$

dove X_{PL} è la quantità di elemento potenzialmente lisciviabile e kX_L è il coefficiente di lisciviazione.

L'N potenzialmente lisciviabile (N_{PL}) è costituito dalla somma di N_S , N_{CP} , N_{CO} , N_M e N_P . Il K lisciviabile (K_{PL}) è quello solubile (Box 4.4) ed è calcolato come segue:

$$K_L = (K_S + K_{RC} + K_{CO} + K_{PI}) \cdot a \quad \text{Eq. 4.20}$$

dove a è un coefficiente che rappresenta la frazione di K scambiabile che può essere lisciviato e dipende da C_{ARG} (Tab. 4.11)

Tabella 4.11. Frazione potenzialmente lisciviabile (coefficiente a dell'Eq. 4.20) del K (K_2O scambiabile) di un terreno in funzione del contenuto di argilla (da Masoni et al., 2010).

Contenuto in argilla (C_{ARG} , %)	< 5	5-15	16-25	>25
Coefficiente a	0,1	0,07	0,04	0,01

In entrambe le Eqq. 4.19 e 4.20, per il valore di N_S o K_S si considera il valore più alto tra la concentrazione dell'elemento nel terreno determinata con le analisi e quella considerata ottimale. Se infatti la prima concentrazione è inferiore alla seconda, è prevista una concimazione di arricchimento che inevitabilmente aumenterà anche la quantità di elemento potenzialmente lisciviabile.

Il coefficiente k_L è funzione della quantità di acqua che percola negli strati profondi del terreno e può essere stimato in base a: i valori cumulati della pioggia (P) e della evapotraspirazione effettiva della coltura (ETE), entrambi espressi in L/m^2 o mm, nel periodo

compreso tra l'analisi del terreno e la fine della coltura; il CI_{CC} (%) calcolato in base a PR:

$$k_L = \frac{(\sum_{n_i}^{n_f}(P) - \sum_{n_i}^{n_f}(ETE))}{1000 \cdot PR \cdot \frac{CI_{CC}}{100} + (\sum_{n_i}^{n_f}(P) - \sum_{n_i}^{n_f}(ETE))} \quad \text{Eq. 4.21}$$

con

$$ETE = ETP \cdot k_C \quad \text{Eq. 4.22}$$

dove k_C è il coefficiente culturale della coltura in esame e ETP è l'evapotraspirazione potenziale (Allen *et al.*, 1998).

Il software calcola ETE e quindi k_L su base decadale.

Nel nostro esempio, nella terza delle 11 decadi tra l'analisi del terreno e la raccolta della coltura, con valori di P e della ETP, rispettivamente, di 57 e 26,8 mm, ed un k_C di 0,70:

$$ETE = ETP \cdot k_C = 26,8 \cdot 0,70 = 18,8 \text{ mm}$$

$$k_L = \frac{(\sum_{n_i}^{n_f}(P) - \sum_{n_i}^{n_f}(ETE))}{1000 \cdot PR \cdot \frac{CI_{CC}}{100} + (\sum_{n_i}^{n_f}(P) - \sum_{n_i}^{n_f}(ETE))} = \frac{(57 - 18,8)}{1000 \cdot 0,30 \cdot \frac{9,5}{100} + (57 - 18,8)} = 0,57$$

Ripetendo le operazioni per le altre 10 decadi si ottiene un k_L medio di 0,38.

Considerando i risultati dei precedenti calcoli, l'N e il K potenzialmente lisciviabili sono:

$$N_{PL} = N_S + N_{SO} + N_{RC} + N_{CO} + N_{PI} = 100,6 + 16,6 + 48,4 + 10,7 + 7,6 = 183,9 \text{ kg/ha di N}$$

$$K_{PL} = (K_S + K_{RC} + K_{CO} + K_{PI}) \cdot a = (491,7 + 105,2 + 12,8 + 0) \cdot 0,1 = 60,97 \text{ kg/ha di K}_2\text{O}$$

con $a = 0,1$ essendo $C_{ARG} = 5\%$

Quindi:

$$N_L = N_{PL} \cdot k_L = 183,9 \cdot 0,377 = 69,33 \text{ kg/ha di N}$$

$$K_L = K_{PL} \cdot k_L = 60,97 \cdot 0,377 = 22,99 \text{ kg/ha di K}_2\text{O}$$

Perdite per insolubilizzazione del P e del K.

Il coefficiente kX_{ins} dell'Eq. 4.1 dipende da C_{CALC} e C_{ARG} :

$$kP_{ins} = 0,02 \cdot C_{CALC} + 0,0133 \cdot C_{ARG} \quad \text{Eq. 4.23}$$

Per il K, kK_{ins} è calcolato come segue:

$$kK_{ins} = 0,033 + 0,0166 \cdot C_{ARG} \quad \text{Eq. 4.24}$$

Nel nostro esempio:

$$kP_{ins} = 0,02 \cdot 2 + 0,0133 \cdot 5 = 0,04 + 0,066 = 0,106$$

$$kK_{ins} = 0,033 + 0,0166 \cdot 5 = 0,033 + 0,083 = 0,116$$

Ricapitolando, le dosi da distribuire alla coltura sono le seguenti:

$$\begin{aligned} N_F &= [(N_{Sopt} - N_S) + N_A - (N_{SO} + N_{RC} + N_{CO} + N_{PI}) + (N_{VD} + N_L)] = \\ &= [(100,6 - 22,4) + 70,9 - (16,6 + 48,4 + 10,7 + 7,6) + (3,1 + 69,3)] = 138,2 \text{ kg/ha di N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_F &= [(P_{Sopt} - P_S) + P_A - (P_{SO} + P_{RC} + P_{CO} + P_{PI}) + (P_{VD} + P_L)] \cdot (1 + kP_{ins}) = \\ &= [(223,5 - 178,8) + 19,9 - (3,6 + 12,4 + 6,4) + 0] \cdot (1 + 0,106) = 46,7 \text{ kg/ha di } P_2O_5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_F &= [(K_{Sopt} - K_S) + K_A - (K_{SO} + K_{RC} + K_{CO} + K_{PI}) + (K_{VD} + K_L)] \cdot (1 + kK_{ins}) = \\ &= [(491,7 - 460,4) + 100,6 - (0 + 105,2 + 12,8) + 23] \cdot (1 + 0,116) = 41,2 \text{ kg/ha di } K_2O. \end{aligned}$$

Frazionamento della concimazione di copertura

In teoria, una volta effettuata la concimazione di arricchimento (se necessaria), occorre distribuire i concimi su base giornaliera o, più realisticamente, settimanale o mensile in base al ritmo di assorbimento della coltura per mantenere la concentrazione dei nutrienti nel terreno vicina ai valori ottimali, ridurre al minimo le perdite per lisciviazione ed evitare i problemi di salinità provocati da una somministrazione eccessiva di concimi.

Questo approccio però è applicabile solo alle colture fertirrigate, perché in quelle concimate con i normali spandi-concime, gli interventi di concimazione sono costosi e inoltre i dosaggi minimi sono relativamente alti, 30-50 kg/ha nel caso di concimi granulari distribuiti con spandiconcimi centrifughi, pari a meno di 7-10 kg/ha di N nel caso del nitrato di calcio. Dosaggi inferiori sono possibili solo se si impiegano attrezzature più sofisticate (quelle per la cosiddetta agricoltura di precisione) e/o concimi liquidi. In queste colture, per aumentare l'efficienza di uso dei concimi occorre considerare:

- mobilità dei nutrienti nel terreno. L'N nitrico e ureico è molto mobile e può essere facilmente lisciviato; pertanto queste forme di N andrebbero usate solo in copertura. In verità, l'urea è spesso usata in pre-impianto confidando in una sua rapida trasformazione in N ammoniacale ad opera dell'ureasi (v. Cap. 2). Nel caso dell'urea è opportuno anche l'interramento. Fosforo e K sono invece poco mobili e quindi potrebbero essere distribuiti in gran parte o solo in pre-impianto. Solo nel caso di colture sarchiate, una parte (20-30%) dei concimi a base di P e K possono essere distribuiti in copertura.

- Curve di asportazione minerale della coltura. Le curve di asportazione dei vari nutrienti dipendono dalla specie e spesso anche dalla cultivar; queste curve non sono note in molti casi. Possiamo però identificare tre categorie di colture:
 1. ortaggi da foglia a ciclo breve (es. lattuga, spinacio): in questo caso la colture mostrano una curva di crescita di tipo esponenziale e circa la metà delle quantità totali di nutrienti richieste dalla coltura sono assorbite nella ultima fase della coltura (Fig. 4.6). Un esempio di frazionamento della concimazione di ortaggi da foglia è riportato nel Cap. 10 dedicato allo spinacio.

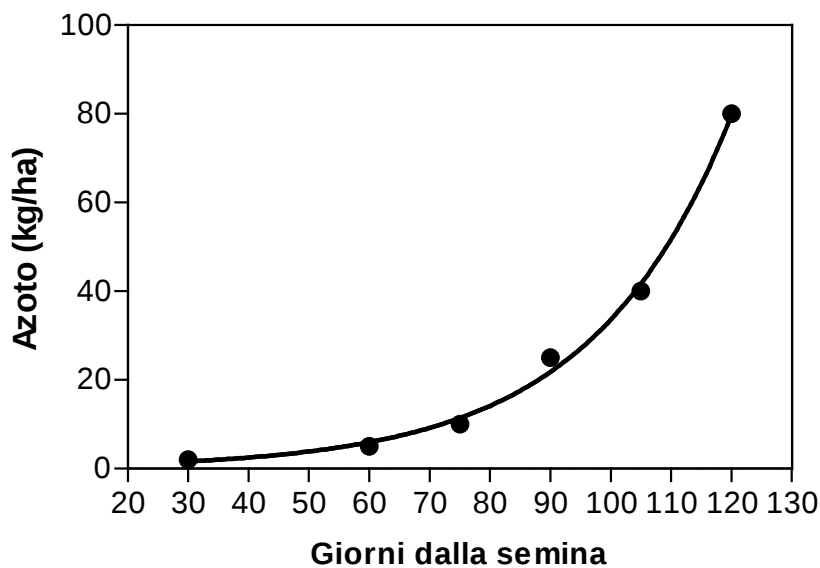


Figura 4.6. Ritmo di assorbimento dell'azoto in una coltura di spinacio da consumo fresco realizzata in autunno in Val di Corrnia, Livorno (dati non pubblicati).

2. Ortaggi da frutto con ciclo colturale di 3-4 mesi, a raccolta unica (es. pomodoro da industria) o concentrata in pochi giorni (es. melone o anguria): il ritmo di assorbimento di N è molto elevato nella fase vegetativa e rallenta velocemente durante la fruttificazione, quando invece aumenta l'assorbimento del K. La Fig. 4.7 riporta la distribuzione (%) della crescita (produzione di biomassa) e dell'assorbimento di N, K, P, Ca e Mg delle solanacee (pomodoro, peperone e melanzana) e delle cucurbitacee (cetriolo, melone e zucchini) in diverse fasi della coltivazione.
3. Ortaggi da frutto a crescita indeterminata e a raccolta scalare (es. pomodoro da mensa in serra): la velocità di assorbimento dell'N e del P tende aumentare con l'accrescimento della coltura nella fase vegetativa per poi divenire costante durante la fruttificazione; al contrario, il tasso di assorbimento del K è relativamente basso nella fase vegetativa e aumentare notevolmente durante l'ingrossamento e la maturazione dei frutti.

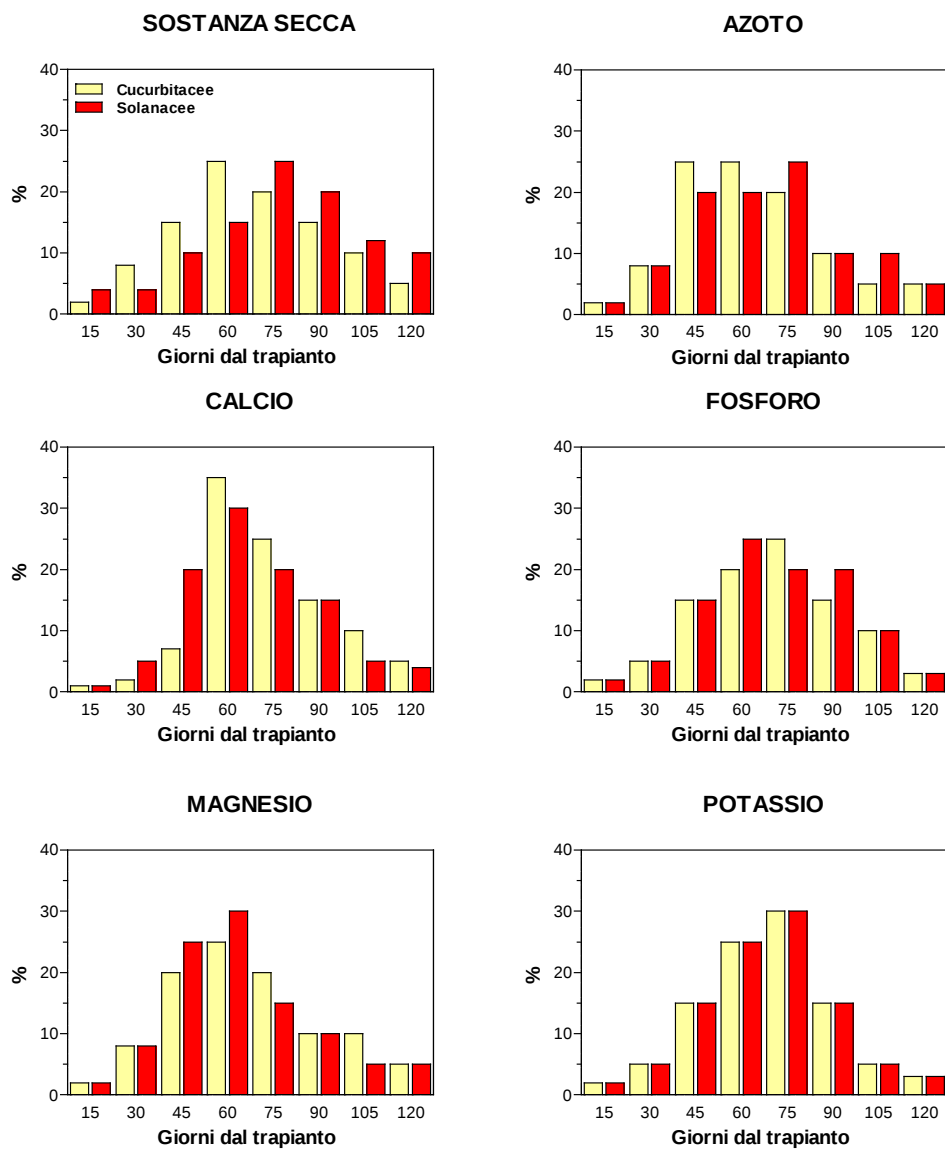


Figura 4.7. Ritmo di crescita e di assorbimento minerale di specie ortive da frutto coltivate in campo. I valori rappresentano la % di biomassa secca prodotta e di elementi nutritivi assorbiti nelle varie fasi del ciclo di coltivazione rispetto al valore totale. I valori sono il risultato di una ri-elaborazione degli autori di dati riportati in letteratura; in particolare, i risultati sono stati normalizzati per un ciclo di 4 mesi.

Box 4.5. CAL-FERT

CAL-FERT è un foglio EXCEL sviluppato dal Dr. Luca Incrocci (Università di Pisa) e dal dott. Daniele Massa (CRA.VIV, Pescia) per facilitare la redazione del piano di concimazione NPK di colture ortive di pieno campo. CAL-FERT utilizza l'algoritmo descritto nel par. 4.3. Per il calcolo sono richiesti i risultati dell'analisi chimica del terreno chimica effettuata non da più di due mesi dal trapianto o dalla semina della coltura in esame.

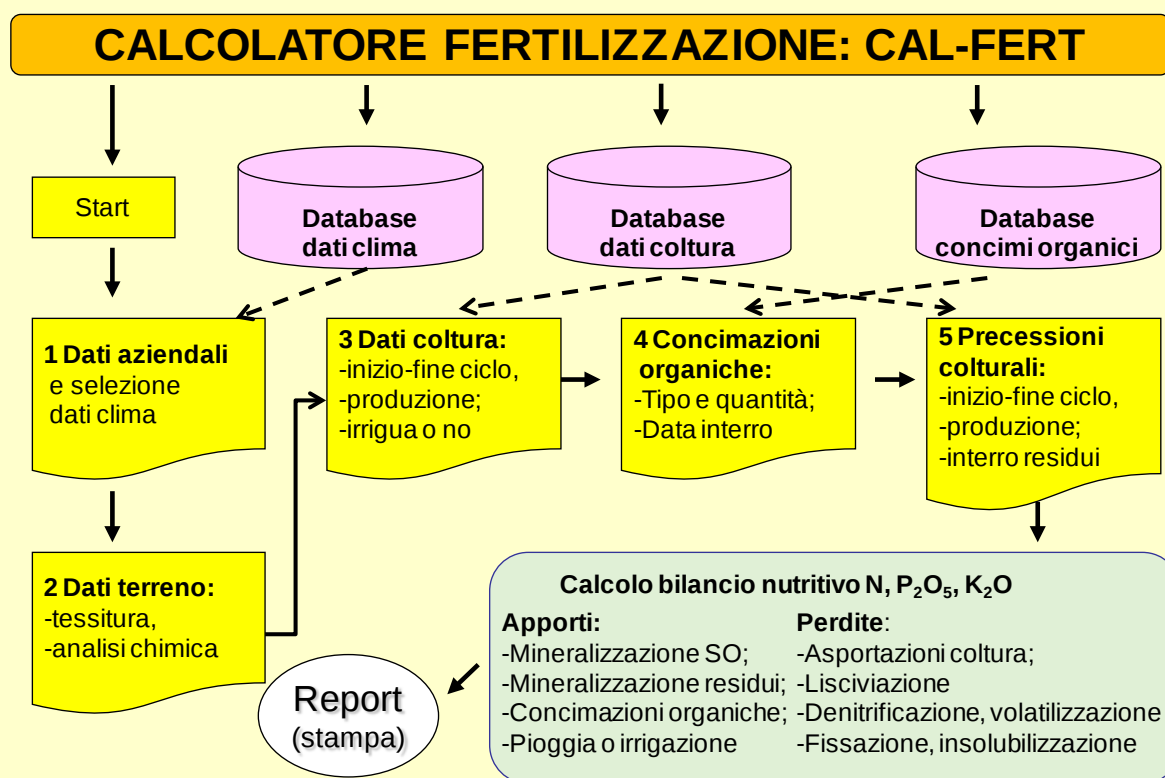


Diagramma di flusso del software CAL-FERT.

Il software contiene tre database, tutti modificabili da parte dell'utente:

1) Dati climatici: si tratta dei valori decadal della temperatura media, minima e massima dell'aria (°C), della piovosità (mm) e dell'evapotraspirazione potenziale (ETP, mm) registrati da circa 80 stazioni meteo dalla rete agrometeorologica del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (UCEA). Il database climatico può ospitare fino ad un massimo di 110 stazioni differenti ordinabili in base alla provincia di appartenenza. L'utente può utilizzare una o più delle trenta stazioni "libere" per inserire i propri dati.

2) Dati colturali. È il database più complesso, dove si raccolgono le seguenti informazioni riguardanti 85 differenti colture di pieno campo (compresi i cereali, diverse colture foraggere, industriali o ortive):

- asportazioni unitarie di N, P₂O₅ e K₂O (kg per tonnellata di prodotto asportato);

- biomassa secca e quantità di N, P₂O₅ e K₂O presenti dei residui colturali radicali e/o aerei (kg per tonnellata di prodotto asportato);
- profondità media delle radici della coltura;
- coefficienti colturali e durata in giorni delle 4 fasi di sviluppo (*Initial; Crop development; Mid Season; Late Season*) della coltura, necessari per il calcolo dell'evapotraspirazione effettiva secondo il metodo FAO (Allen *et al.*, 1998);
- distribuzione (%) dell'assorbimento totale di N, P₂O₅ e K₂O nelle 4 fasi sopra indicate (questa informazione è opzionale, ma può essere utile per suggerire come distribuire i concimi durante la coltivazione).

3) Concimi organici: in questo database sono contenute le concentrazioni di N, P₂O₅ e K₂O nei più comuni concimi organici; per ogni concime è riportata anche la % di elemento subito disponibile o ceduta nel primo e secondo anno dopo la loro distribuzione. Il database può contenere fino ad un massimo di 20 prodotti.

Nella redazione del proprio piano di concimazione, l'utente segue un percorso guidato composto da 5 finestre (*wizard*) successive dove sono inseriti gli input necessari al calcolo:

- 1) Dati aziendali: servono per l'identificazione del piano di concimazione e la selezione della stazione meteo di riferimento;
- 2) Terreno: sono richiesti i risultati dell'analisi fisica e chimica del terreno. Attraverso l'inserimento della percentuale di argilla, di sabbia e di scheletro, in base alle equazioni pedotransfer riportate da Saxton e Rawls (2006), il software classifica il terreno in una delle 12 classi USDA e ne calcola le costanti idrologiche (punto di appassimento, capacità di campo).
- 3) Coltura: occorre indicare la specie e le date di semina/trapianto e di raccolta della coltura da concimare, la produzione attesa e se la coltura è irrigua.
- 4) Concimazione organica: occorre fornire le informazioni sulle concimazioni organiche effettuate nell'ultimo anno (tre al massimo), indicando il tipo di concime, la quantità e la data di interrimento.
- 5) Precessione colturale: occorre fornire le informazioni sulle colture raccolte nei sei mesi precedenti l'analisi chimica, indicando la specie, la produzione raccolta, la data di fine coltura, e la data dell'eventuale interrimento dei residui colturali.

Il software procede al calcolo delle dosi di N, P₂O₅ e K₂O somministrare, utilizzando l'algoritmo descritto nel par. 4.3. I dati climatici sono utilizzati per stimare la quantità degli lisciviati con le piogge e/o l'irrigazione e per il calcolo dell'apporti nutriente derivante dalla mineralizzazione della sostanza organica e dei residui colturali aerei.

Alla fine, viene stampato un report dove sono riassunti gli input utilizzati per il calcolo e il piano di concimazione con l'indicazione di ognuna delle voci del bilancio minerale e della dosi N, P₂O₅ e K₂O consigliate per la concimazione di arricchimento e la concimazione di produzione (o di mantenimento).

4.4. METODI PER LA STIMA DEL FABBISOGNO NUTRITIVO DELLE COLTURE⁴

La biodisponibilità dei nutrienti non può essere assicurata da una sola tecnica o da un particolare accorgimento o prodotto. Si tratta infatti di raggiungere e mantenere un delicato equilibrio tra immagazzinamento e mobilità del nutriente all'interno della porzione di suolo esplorata dalle radici (vedi Cap. 2), effettivo assorbimento ed assimilazione da parte della pianta (vedi Cap. 3), e ripartizione dei prodotti della fotosintesi in favore delle parti eduli o di interesse commerciale, forma chimica del fertilizzante (vedi Cap. 4.2), ed infine precisione e tempestività nella distribuzione. Una corretta scelta delle tecniche e delle strategie per l'apporto dei nutrienti può aumentare significativamente l'efficienza della concimazione, coadiuvando, amplificando ed integrando altre scelte operative come ad esempio la gestione irrigua della coltura.

Numerosi studi hanno dimostrato come pochi interventi che allontanino da una gestione empirica e conducano verso un soddisfacimento delle reali necessità della pianta, integrando il concetto di supplementarietà nella gestione della fertilizzazione e dell'irrigazione, possano tradursi in marcati guadagni economici e un ridotto impatto ambientale. La riduzione di apporti fertilizzanti dato dal monitoraggio del contenuto nutritivo del terreno o della pianta durante il ciclo colturale è stimato attorno al 10-15%. L'applicazione di sistemi di supporto alle decisioni (*Decision Support System* o *DSS*) ha dimostrato negli anni e su diverse colture la sua efficacia con riduzioni di oltre il 50% degli apporti fertilizzanti senza penalizzazioni della resa o della qualità. Il risparmio nei costi colturali è pari a diverse centinaia di euro per ettaro. Anche il calcolare correttamente l'apporto di nutrienti contenuti nelle acque irrigue, specie se di superficie o reflue, porta a risparmi nel quantitativo di fertilizzanti (sino al 15%) e ad un vantaggio economico che va da un minimo di alcune decine ad un massimo di centinaia di euro.

Misura dello stato nutrizionale ed idrico

Esistono numerosi metodi per stimare il contenuto di N e di altri nutrienti nella pianta o nel suolo durante il ciclo colturale od alla raccolta. La stima in parallelo dello stato idrico o di alcuni indicatori di sviluppo della pianta consente di pesare correttamente il dato di concentrazione del nutriente, riducendo significativamente l'errore di campionamento. Quando la misura del nutriente, in particolare dell'N, è fatta su di un campione di suolo, è indispensabile conoscerne anche il suo contenuto idrico, pena il confondere il quantitativo totale dell'elemento contenuto in un volume di terreno con la sua effettiva disponibilità.

Le misure effettuate durante le fasi salienti della crescita e dello sviluppo della pianta forniscono informazioni che possono evitare perdite produttive o di qualità del prodotto, costi ingiustificati e perdita di composti azotati ed altri nutrienti verso le falde o le acque superficiali. L'analisi alla raccolta o dopo un periodo di conservazione del contenuto di nitrati nelle parti eduli è un importante parametro qualitativo per molte colture ortive, che non solo

⁴ A. Battilani.

ne influenza la serbevolezza e l'idoneità rispetto ad una tecnica di conservazione o ad un ciclo di trasformazione industriale, ma anche e soprattutto l'impatto sulla salute del consumatore.

Le metodologie di misura applicabili devono rispondere ad alcuni requisiti in funzione dell'utilizzo previsto del risultato analitico. Spesso si rendono necessarie scelte di compromesso tra le necessità, non sempre conciliabili, di precisione e ripetibilità e quelle di facilità di esecuzione e campionamento, rapidità nella risposta e contenuto costo economico. Alcune misure possono essere eseguite direttamente in campo anche da personale non particolarmente esperto, mentre altre richiedono laboratori attrezzati e tecnici specializzati. In entrambi i casi, le metodiche più precise sono spesso le più costose e quindi vengono eseguite su di un limitato numero di campioni; viceversa, analisi meno precise e dispendiose possono interessare un numero più elevato di campioni e quindi meglio dominare la grande variabilità spaziale, individuale o temporale, insita in questo tipo di misure. In generale, per la redazione di un bilancio dei nutrienti è preferibile disporre di analisi di minore precisione ma ripetute su di un numero più ampio di campioni. La certificazione della qualità del prodotto richiede al contrario analisi eseguite con metodiche ufficiali in laboratori accreditati, su campioni composti o su di un numero di campioni rappresentativo della partita di prodotto. Per il controllo dell'impatto ambientale è importante ripetere le analisi su di un sufficiente numero di campioni, ad esempio diverse profondità nel suolo, ed in diversi momenti del ciclo colturale o a seguito di eventi significativi, quali piogge di elevata intensità o irrigazioni.

Il programma di monitoraggio dello stato nutrizionale della coltura e/o della disponibilità di nutrienti nel suolo durante il ciclo colturale deve iniziare all'emergenza od al trapianto (prima foglia vera o ripresa vegetativa post-trapianto) e continuare sino agli inizi della maturazione con cadenza settimanale o bisettimanale. Per alcune colture ed in terreni dotati di buona fertilità e non facilmente dilavabili, il programma di monitoraggio può essere legato al raggiungimento di fasi fenologiche (fenofasi) critiche. Nel pomodoro da industria, ad esempio, se le condizioni di sviluppo e crescita della coltura appaiono soddisfacenti può essere sufficiente un solo campione prelevato agli inizi dell'allegagione, seguito da un secondo agli inizi dell'ingrossamento del frutto, circa a metà della fase di formazione della produzione. Interventi eseguiti in queste fasi sono generalmente sufficienti ad evitare perdite di produzione. Per il controllo dello stato idrico del terreno, poche misure effettuate in precise fasi critiche possono aiutare a migliorare la disponibilità di nutrienti per la pianta ed a evitare perdite per percolazione, tramite una migliore gestione degli apporti irrigui.

Campionamento del terreno

L'analisi del contenuto di nutrienti ed in particolare delle forme azotate presenti nel suolo, o meglio nello strato di terreno esplorato dall'apparato radicale, effettuata all'inizio del ciclo colturale, prima dell'eventuale distribuzione di fertilizzanti di fondo o della concimazione organica, e ripetuta in prossimità della raccolta è indispensabile per il calcolo del bilancio dei nutrienti e per la verifica del potenziale impatto ambientale. In terreni dilavabili o salini è utile eseguire almeno un campionamento per il controllo della disponibilità di nutrienti nella zona colonizzata dalle radici in corrispondenza del massimo

assorbimento da parte della coltura.

Il prelievo di campioni di suolo deve avvenire all'interno di un'area considerata omogenea. Si ritiene omogenea un'area in cui siano state applicate le stesse pratiche colturali, in particolare concimazioni organiche, lavorazioni profonde e incorporazione di residui colturali, e che abbiano una comune precessione colturale nel biennio o nel triennio antecedente l'analisi. La presenza di drenaggio, irrigazione, pacciamature, coperture mobili, zone di ristagno, diversa pendenza, o di zone con diversa struttura del terreno può significativamente influire sui livelli attuali di fertilità. Dato il numero di variabili da considerare, non è possibile indicare criteri oggettivi per l'individuazione delle aree omogenee, ma essi vanno definiti, caso per caso, con l'aiuto dell'esperienza. Quando le analisi servono a determinare la dotazione minerale di un terreno per la stesura del piano di concimazione, i prelievi devono essere effettuati a sufficiente distanza di tempo dalle lavorazioni e soprattutto dalle concimazioni con prodotti di sintesi od organici. È bene che siano trascorsi almeno 2-3 mesi dalle ultime concimazioni.

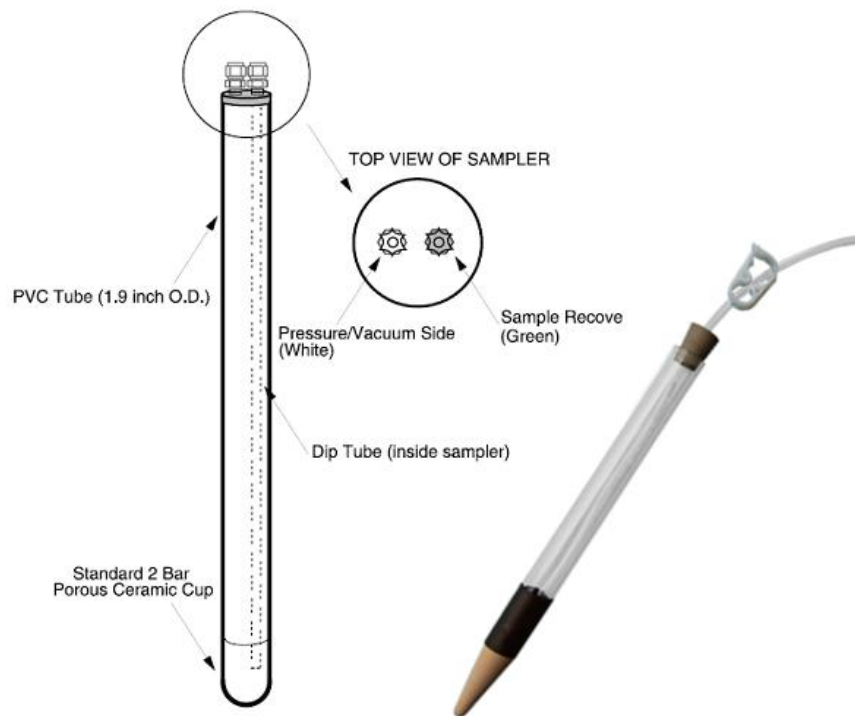
Il campione da analizzare deve essere prelevato dallo strato di terreno che risulta maggiormente interessato dalle radici delle colture. Il campione può essere rappresentato da un unico orizzonte o stratificato. Si consiglia di prelevare un campione anche immediatamente al di sotto della massima profondità radicale attesa. Il campione non andrà prelevato ai bordi dell'appezzamento, dove ristagna l'acqua di pioggia o di irrigazione, dove siano presenti crepe o si sia formata una spessa crosta, etc.. Riguardo al numero dei campioni, alla struttura del sub-campione, etc., è bene fare riferimento, ove disponibili, alle Linee Guida od ai Disciplinari di Produzione locali. Subito dopo il prelievo del terreno, dovrà essere effettuata l'analisi del contenuto idrico nello strato esplorato dalle radici, utilizzando una porzione dello stesso campione utilizzato per l'analisi del contenuto di nutrienti. Il metodo classico prevede l'essiccazione in forno ventilato a 105°C sino al raggiungimento del peso costante, ma possono essere utilizzati anche sensori di umidità del suolo posti stabilmente in prossimità del punto di prelievo. L'utilizzo di questi sensori richiede maggiore attenzione.

Campionamento della soluzione circolante nel terreno

La soluzione circolante è costituita dall'acqua libera negli spazi tra le particelle del terreno e dalle sostanze in essa disciolte. La quasi totalità degli elementi nutritivi viene assorbita dalla pianta attraverso la soluzione circolante (assorbimento attivo), la cui composizione è quindi rappresentativa dell'effettiva disponibilità del nutriente per la coltura. I fattori che possono interferire con il campionamento della soluzione circolante sono, ad esempio, l'irrigazione, le piogge, le lavorazioni, le concimazioni e la temperatura. Altri aspetti come l'attività microbica, l'azione adsorbente del terreno e l'assorbimento da parte delle piante sono parte integrante del fenomeno oggetto di monitoraggio. Il contenuto di N nel terreno può variare significativamente in relazione ai movimenti di acqua nel terreno (piogge e irrigazioni) e alla mineralizzazione della sostanza organica (in positivo ed in negativo).

Il monitoraggio della soluzione circolante presente nel suolo permette di conoscere la quantità di nutrienti disponibile per la coltura in un dato momento. Il campionamento della

soluzione circolante può essere eseguito con dei lisimetri a suzione.



Lisimetro a suzione (Soilmoisture mod 1920F1; GMR Strumenti)

Questi strumenti sono costituiti da una coppa porosa saldata ermeticamente su un tubo del diametro di qualche centimetro, all'interno del quale è inserito un capillare che permette di recuperare e raccogliere la soluzione circolante estratta presente all'interno del lisimetro. L'installazione di queste coppe porose nel profilo di suolo non richiede particolari operazioni; importante è garantire la buona adesione della coppa porosa con il suolo circostante ed evitare che lungo il tubo si formino flussi preferenziali che portino rapidamente acqua dalla superficie alla coppa, specie in occasione di piogge ed irrigazioni. Perché il lisimetro possa estrarre la soluzione circolante dal suolo circostante, è necessario creare al suo interno una depressione tramite una semplice siringa o una pompa. La depressione che deve essere applicata ai lisimetri è principalmente funzione del tipo di suolo e del suo contenuto idrico al momento in cui si va ad operare. Affinché il campionamento sia rappresentativo dell'area circostante, è necessario tener conto dell'omogeneità o meno del suolo. La principale difficoltà è costituita dal rapportare la concentrazione del campione prelevato all'effettivo contenuto di nutrienti nello strato di terreno esplorato dalle radici, espresso in kg/ha. Ancora una volta si rende necessario conoscere il contenuto idrico dell'orizzonte di terreno considerato. Il limite applicativo è dato principalmente dalla necessità di posizionare più di un lisimetro per ottenere un dato utilizzabile; dalla difficoltà di campionare suoli argillo-limosi quando non prossimi alla capacità di campo; dalla perdita di aderenza della coppa porosa in suoli soggetti a crepacciamento o con presenza di scheletro o sabbia grossolana. Il principale vantaggio è

dato dalla ripetibilità del campionamento.

Misure sulla pianta

L'analisi dei tessuti vegetali è un ulteriore strumento a supporto della corretta gestione degli apporti nutrizionali alla pianta. Le analisi fogliari, eseguite con diverse metodiche, sono molto diffuse, specie negli Stati Uniti, sin dalla metà degli anni 90' e vengono consigliate da diversi servizi di assistenza tecnica. Generalmente questo tipo di monitoraggio viene eseguito con due distinte finalità: la prima è il controllo dell'efficacia degli apporti fertilizzanti già effettuati, ad esempio con la fertirrigazione; la seconda è la diagnosi di sospette o conclamate deficienze nutrizionali. La valutazione del risultato viene in genere effettuata su base tabellare, frequentemente non tenendo in conto le variazioni nella concentrazione ottimale in funzione dello stadio di sviluppo della pianta, ma solo una soglia media, definita come critica od ottimale, al di sotto della quale è necessario intervenire con la fertilizzazione. Non è possibile determinare la quantità di fertilizzante da apportare, la forma chimica più efficace e la corretta frequenza di distribuzione partendo dal solo dato di analisi della concentrazione fogliare. Nella pratica, il risultato dell'analisi evidenzia una carenza, potenziale o conclamata, a cui si pone rimedio o decidendo empiricamente il quantitativo di nutrienti da apportare, in genere per eccesso, o intervenendo con dosi frazionate e ripetendo il test dopo ogni dose sino a che la concentrazione misurata risulti stabile al di sopra della soglia critica. È infatti necessario garantire un minimo di riserva nel terreno specie se non si adottano metodi di distribuzione del fertilizzante che permettono interventi frequenti durante l'intero ciclo colturale. Quando queste analisi sono eseguite molto frequentemente, possono fornire comunque utili indicazioni per la correzione in tempo reale di piani di fertilizzazione redatti su base previsionale o statica.

Le misure sulle piante possono essere di tipo distruttivo (o invasive) o non-distruttivo (non invasive).

Il primo tipo di misure prevede il prelievo di una matrice analitica tramite la distruzione della pianta o parte di essa. La stessa foglia non potrà essere campionata una seconda volta, e quindi la misura rappresenta una particolare condizione legata al momento (fase fenologica, orario, distanza da una pioggia, da una irrigazione, da un intervento colturale), all'individuo (fillotassi, esposizione alla luce, età, stato sanitario) ed alla posizione (rispetto alla pianta ed alla distribuzione della parte ipogea o all'impianto di irrigazione, alle scoline). Le misure distruttive richiedono in generale tempi più lunghi di esecuzione e maggiore capacità tecnica.

Per l'analisi del tessuto vegetale si utilizzano in genere il picciolo o la lamina fogliare, più raramente il fusto o il frutto. La foglia è più utilizzata quando il campione viene essiccato prima dell'analisi, mentre il picciolo è utilizzato per test rapidi eseguiti sul succo cellulare. Per l'interpretazione del risultato dell'analisi sono disponibili molte referenze standard. Poiché è indispensabile che il tessuto vegetale campionato corrisponda a quello utilizzato per lo sviluppo dello standard prescelto, la scelta dello standard per l'interpretazione del risultato deve essere fatta prima di eseguire il campionamento. Il momento della giornata in cui si esegue il prelievo del tessuto vegetale può influenzare significativamente il risultato. Anche la

temperatura dell'aria e della foglia influenzano il contenuto di nutrienti del succo cellulare. Il prelievo non deve essere effettuato in prossimità dell'alba o del tramonto. In genere prelievi effettuati tra le 9 e le 16 consentono di ottenere risultati ripetibili e confrontabili. Nelle ore prossime allo zenit, tra le 11 e le 14 ora solare, le temperature potrebbero essere troppo elevate. L'operatore deve considerare una ragionevole standardizzazione dell'orario e delle temperature di prelievo in modo da garantire che i risultati di diversi campionamenti siano confrontabili. Il campione vegetale sarà pressato manualmente (anche con uno spremi-aglio) per estrarne il succo che sarà poi diluito prima del test. Si raccomanda di pulire accuratamente l'attrezzatura, sciacquandola ripetutamente con acqua deionizzata, prima di ripetere l'operazione con un nuovo campione.



Preparazione di un campione per l'analisi del contenuto di nitrati (Horiba Ltd, UK)

La rappresentatività del campione vegetale deve essere garantita da un adeguato numero di porzioni di tessuto (da 30 a 100) prelevate a formare un campione composto. L'età della foglia, sia che venga campionato il picciolo o la lamina fogliare, ha una grande influenza sul risultato essendo assai diversa la concentrazione di nutrienti nei tessuti giovani. Le foglie da campionare devono avere raggiunto da poco tempo la maturità, ovvero la massima espansione e una colorazione più scura rispetto alle foglie allo stadio giovanile. Di queste foglie si preleverà il picciolo, ricordando che per le foglie composte questo è costituito dall'intero asse che connette le foglioline e dal loro singolo picciolo, oppure la lamina prelevandone una porzione compresa tra le nervature principali.

Per misure non-invasive si può far uso di tecnologie sviluppate per il telerilevamento da satellite per misurare il contenuto di N fogliare senza contatto con la vegetazione. Il telerilevamento permette infatti l'acquisizione a distanza di informazioni quantitative e qualitative riguardanti la pianta e non solo mediante la registrazione dell'energia elettromagnetica riflessa dalla superficie fogliare. In particolare, le lunghezze d'onda dello spettro visibile (VIS) e del vicino infrarosso (NIR) permettono di determinare con sufficiente

precisione il contenuto di clorofilla della foglia. La concentrazione di N fogliare è strettamente correlata con la concentrazione dei composti azotati coinvolti nella fotosintesi, in particolare la clorofilla. Inoltre, la concentrazione di N nelle foglie di una data specie presenta una forte correlazione con il variare della disponibilità di N presente nell'ambiente.



Misuratore di clorofilla SPAD (Minolta).



Misuratore di clorofilla (Yara).

La crescente enfasi posta sui sistemi non invasivi di misura ed i vantaggi offerti dalla rapidità di esecuzione (come la possibilità di effettuare molte misure su differenti individui ripetendole più volte se necessario, la risposta immediata e il costo relativamente contenuto (limitato al solo costo di acquisto dello strumento) hanno portato allo sviluppo di misuratori del contenuto fogliare di clorofilla e, indirettamente, di N. Gli strumenti portatili più diffusi e conosciuti sono i fotometri del tipo SPAD (Minolta) o N-Tester. Il primo restituisce il contenuto di clorofilla che sarà poi convertito in N fogliare mentre il secondo può dare direttamente indicazioni sul fabbisogno azotato della coltura. Per eseguire la lettura, entrambi i sistemi richiedono che l'operatore stringa il lembo della foglia nella pinza dove alloggiato l'emettitore ed il sensore. La singola lettura o la media di più letture potrà essere letta direttamente sullo schermo. Il limite principale di questi strumenti è dato dalla difficoltà di realizzare una mappatura dello stato nutrizionale della coltura e di conservare uno storico georeferenziato; richiedono inoltre operatori con un minimo di esperienza.

Sono disponibili anche nuovi sistemi multispettrali capaci di identificare carenze nutrizionali di più elementi sfruttando specifiche variazioni dello spettro riflesso dalla foglia (spettroscopia). Questo sistema di misura non richiede contatto con la foglia e può essere effettuato in automatico da strumenti portati da macchine operatrici durante l'esecuzione di qualsiasi intervento colturale, o da mezzi dedicati alla misura spettrale ed al campionamento del suolo. Questi sistemi possono interagire in tempo reale con la regolazione della distribuzione di fertilizzante o con il fertiriettore e permettono inoltre di creare una mappa dello stato nutrizionale georeferenziata che potrà essere utilizzata successivamente nella pianificazione degli interventi.



Sensore per il telerilevamento dello stato nutrizionale (N-Sensor, foto Yara).

Sono disponibili sul mercato anche strumenti portatili, come ad esempio la sonda Field Scout, che permettono di operare anche in piccole superfici o su colture ove sia necessario mirare con precisione all'apparato fogliare.

Grazie al rapido sviluppo delle tecnologie multimediali è oggi possibile utilizzare tecniche di analisi dell'immagine per determinare lo stato nutrizionale della coltura. Il sistema prevede che una fotografia della massa fogliare, scattata con un semplice *smart-phone* o *tablet*, venga inviata come messaggio multimediale ad un centro di elaborazione dati che analizzerà in tempo reale il colore e la struttura della foglia per restituire con un messaggio di testo il risultato. Questo tipo di applicazione coinvolge diversi aspetti quali la modellizzazione biometrica, le tecniche di acquisizione e processo delle immagini, campi nei quali lo sviluppo scientifico e tecnologico è assai rapido. La tecnica non è ancora largamente diffusa benché aziende leader nel settore della fertilizzazione stiano iniziando a fornire supporto tecnico per la determinazione dello stato nutrizionale della coltura attraverso l'analisi di immagini.



Sonda portatile per la misura spettrale dello stato nutrizionale (Field Scout, Spectrum).

Analisi chimiche dei campioni

Le determinazioni analitiche destinate alla certificazione di prodotto o per il controllo del rispetto di norme e regolamenti devono essere eseguite presso laboratori autorizzati e certificato, quando non diversamente specificato. I metodi di analisi ufficiali di laboratorio forniscono risultati di elevata precisione a fronte di costi spesso elevati e di tempi troppo lunghi di risposta per essere applicabili nella gestione della fertilizzazione in corso di coltivazione. Sono viceversa utili per le analisi necessarie alla caratterizzazione del terreno prima dell'avvio della coltivazione.



Acquisizione di immagini della copertura vegetale per una successiva analisi dello stato nutrizionale della coltura (foto Yara).

Sono oggi disponibili diversi metodi di analisi rapida, spesso forniti in kit comprendenti tutto il materiale necessario all'esecuzione *in situ* dell'analisi, che consentono di monitorare con frequenza elevata il contenuto di nutrienti sia nel suolo che nella vegetazione. I test rapidi si possono dividere, a seconda del loro grado di accuratezza, in test qualitativi (rivelazione della presenza o assenza della sostanza cercata), semiquantitativi (indicazione della quantità di sostanza presente, entro un intervallo di concentrazioni piuttosto ampio) o quantitativi (determinazione della concentrazione). I prezzi variano da pochi euro per i test più semplici (strisce reattive) a qualche migliaio di euro per la strumentazione portatile (fotometro, misuratori elettrochimici multiparametro).

I metodi di diagnostica rapida maggiormente diffusi sono i seguenti:

- colorimetrico (strisce reattive, o test con reagenti predosati e non);
- fotometrico (strumentazione portatile per analisi fotometrica in cuvette con reagenti);
- ionoselettivo (misure elettrochimiche con strumentazione portatile).

La stragrande maggioranza dei kit presenti in commercio si basa su reazioni di formazione di sostanze colorate, che permettono un'immediata visualizzazione dell'andamento del test. Qualsiasi test deve essere calibrato utilizzando soluzioni standard, in genere fornite dal produttore stesso. Nel caso di test colorimetrici, la calibrazione permette di verificare che i reagenti non siano stati deteriorati dalle alte temperature o dall'esposizione alla luce, o non siano scaduti. Gli elettrodi ionoselettivi necessitano di una calibrazione più precisa in laboratorio e devono essere periodicamente sostituiti.

I test colorimetrici possono essere effettuati comparando il colore della striscia o della soluzione all'interno della provetta con una scala di riferimento stampata su carta, con un disco colorimetrico o, preferibilmente, con l'aiuto di uno strumento dedicato (Nitrachek, Merkoquant). L'utilizzo di fotometri implica una preparazione del campione da analizzare più accurata ed il rischio di interferenze. Questo tipo di analisi, molto più precisa del semplice test colorimetrico, richiede comunque un minimo di attrezzatura e di manualità ed è più costosa. Tutti i test colorimetrici o fotometrici sono disturbati dal colore della matrice (effetto di mascheramento), in particolare il colore della clorofilla nel test del succo cellulare può causare interferenze anche importanti. I test ionoselettivi (es. Cardy Meter) sono di facile applicazione e non richiedono particolari competenze o una preparazione del campione diversa da una semplice diluizione con acqua distillata.

In ogni caso, è opportuno eseguire la validazione di un test rapido prima di applicarlo all'analisi di una determinata tipologia di campione, confrontando i risultati forniti dal test rapido con quelli ottenuti con un metodo ufficiale di analisi.

Presso l'Università di Pisa è stato condotto un studio per valutare l'affidabilità di alcuni test rapidi di tipo titrimetrico (per la determinazione del boro) o riflettometrico (per la determinazione di N-nitrico, N-ammoniacale, fosfato e cloruro). Lo studio prevedeva il confronto tra i dati ottenuti con i test rapidi e quelli forniti da un'analisi di laboratorio: (metodo dell'azometina H per la determinazione del boro e cromatografia ionica negli altri casi). Sono state testate diverse matrici: soluzioni circolanti del terreno estratti con un lisimetro a suzione, estratti acquosi di terreni o substrato (torba-perlite), soluzioni nutritive utilizzate in coltura idroponica. Dallo studio è emerso che i test riflettometrici per la determinazione del fosfato, del cloruro e del NO_3^- appaiono affidabili mentre i test per il B e l'N-ammoniacale sono poco precisi e accurati e dovrebbero essere usati solo come test semiquantitativi);

Sistemi di supporto decisionale (DSS) e le piattaforme integrate per la gestione idrico-nutrizionale

La corretta gestione della fertilizzazione richiede che tutti gli aspetti tecnici siano tenuti in considerazione. Fenomeni quali l'interazione con le pratiche colturali, lo sviluppo della pianta e degli apparati radicali, il movimento dell'acqua e dei soluti nel suolo, le tecnologie di distribuzione del fertilizzante, l'effetto del clima e della cinetica di mineralizzazione della sostanza organica, la qualità dell'acqua irrigua o il riuso di reflui depurati, devono essere quindi stimati o misurati per determinare il corretto apporto idrico-nutrizionale. Le strategie di fertilizzazione attualmente disponibili per una gestione in campo di tutti i principi e i criteri esposti possono essere così schematizzate, in ordine crescente di precisione e complessità:

- Gestione mediante bilanci semplificati (es. disciplinari di produzione Integrata)
- Supporti decisionali (DSS) statici
- Supporti decisionali (DSS) dinamici
- Piattaforme integrate

La gestione mediante bilanci semplificati prevede l'uso di semplici relazioni,

frequentemente esposte in forma tabellare, per determinare i fabbisogni della coltura e la dotazione del terreno. Al risultato ottenuto si applicherà uno schema di frazionamento idoneo alla coltura e si provvederà ad equilibrare la miscela di fertilizzanti per ciascun intervento.

I DSS statici permettono di applicare sistemi di calcolo più complessi e precisi pur senza richiedere da parte dell'utente particolari conoscenze specifiche. Necessitano comunque di un adeguato supporto informatico e di una minima competenza nell'uso di strumenti di calcolo. Un DSS è normalmente concepito in modo da richiedere il minimo di informazioni necessarie ad impostare una gestione secondo i criteri più corretti, per giungere ad un prodotto di semplice lettura e di facile utilizzo. I DSS dinamici rappresentano l'evoluzione dei precedenti; infatti, permettono una riparametrazione a passo giornaliero od orario della stima dei fabbisogni nutrizionali ed aggiustamenti nella frequenza di distribuzione, sulla base della simulazione del ritmo di crescita della coltura.

L'uso di piattaforme integrate sarà nel prossimo futuro l'opzione più comune. La piattaforma è infatti concepita e strutturata per integrare dinamicamente tutte le possibili fonti di informazione partendo dai dati satellitari, sino alla sensoristica *in situ* di qualsiasi genere ed ai modelli gestionali o DSS. Ciononostante, attualmente i DSS sono gli unici strumenti in grado di approssimare con sufficiente precisione su di un passo temporale giornaliero tutte le interazioni esistenti tra i diversi fenomeni interessati nella gestione idrico-nutrizionale.

I principali limiti alla diffusione dell'uso di DSS sono la disponibilità di dati di buona qualità riguardo al clima ed al suolo, e le competenze informatiche dell'utente. Per il funzionamento di un DSS a passo giornaliero, occorrono informazioni riguardanti il clima (temperatura massima e minima, pioggia), la gestione irrigua (metodo e volumi irrigui), le caratteristiche fisico-chimiche del terreno (granulometria, tenore in sostanza organica, N totale e nitrico, pH, EC (salinità) Ca scambiabile, K, P, Na, Mg), la fenologia della coltura e la produzione attesa. Non va inoltre dimenticato che qualsiasi DSS richiede una verifica e, ove necessario, una calibrazione a livello locale.

La fertirrigazione

Il significativo sviluppo delle tecnologie microirrigue ed il parallelo miglioramento dell'irrigazione per asperzione sono tra i fattori che più di ogni altra cosa hanno contribuito alla diffusione della fertirrigazione negli ultimi anni. All'innovazione tecnologica si è aggiunta la necessità di difendere le sempre più scarse risorse idriche dall'inquinamento di matrice agricola, che ha provocato una forte accelerazione del processo di revisione della gestione della nutrizione della pianta, spingendo tecnici ed agricoltori a ricercare nuovi mezzi tecnici in grado di aumentare l'efficienza in vista dei sempre minori quantitativi di nutrienti ammessi dalle leggi a tutela dell'ambiente e della salute del consumatore.

La distribuzione di sostanze chimiche, ed in particolare fertilizzanti, attraverso il sistema di irrigazione è ormai ritenuta pratica comune nella moderna orticoltura sia in coltura protetta che in pieno campo. La disponibilità di nuove tecnologie quali i gocciolatori CNL (*Compensated Non-Leakage*) con capacità anti-drenante, che permettono di operare in altissima frequenza, e il minor costo di miscelatori proporzionali di grande precisione,

permette oggi un avanzamento della tecnica applicando criteri di fertirrigazione in altissima frequenza. Questa tecnica, strettamente legata alla gestione idrica della coltura, garantisce una maggiore biodisponibilità dell'apporto idrico-nutrizionale e permette di regolare meglio gli apporti aumentandone l'efficienza.

In conclusione, la fertirrigazione si conferma come una tecnica d'avanguardia capace di fornire risultati produttivi e qualitativi di grande rilievo ma, se mal gestita, altrettanto capace di indurre squilibri nella crescita e nella fruttificazione della coltura o semplicemente di costituire un aggravio dei costi senza alcun ritorno economico. La gestione della fertirrigazione non deve quindi essere effettuata senza una buona conoscenza dell'ambiente agrario in cui si opera, in particolare del fabbisogno idrico della coltura e delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo e dell'acqua irrigua, della fisiologia della pianta e di un'accurata progettazione dell'impianto irriguo.

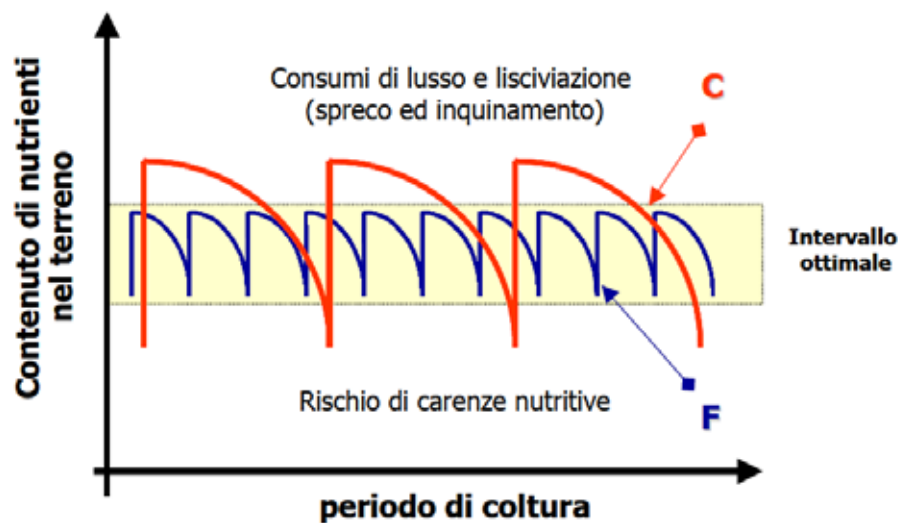
4.5. LA GESTIONE DELLA FERTIRRIGAZIONE IN SERRA⁵

La fertirrigazione è ampiamente diffusa nelle colture di serra, anche in quelle realizzate a terra. La tecnica, in effetti, offre diversi vantaggi. Permette di soddisfare l'elevata richiesta di nutrienti da parte della coltura determinata dall'alto tasso di crescita attraverso una frequente distribuzione dei concimi, riducendo allo stesso tempo la lisciviazione dei nutrienti se l'irrigazione è ben pilotata. La Fig. 4.8 illustra i vantaggi della fertirrigazione pressoché continua rispetto ad una distribuzione frazionata, ma poco frequente, dei concimi in una coltura di serra. La fertirrigazione consente di mantenere il contenuto minerale del terreno in un preciso intervallo in modo da evitare l'insorgenza di condizioni di carenza o sub-carenza o, al contrario, i cosiddetti consumi di lusso da parte della pianta e la lisciviazione con conseguenti sprechi di concimi e inquinamento.

In questo paragrafo viene descritto il metodo sviluppato in Olanda dal Sonneveld e Voogt (2009) per la gestione della fertirrigazione delle colture su terreno in serra. Il metodo si sta rapidamente diffondendo anche in Italia, ad es. nell'Agro-Pontino e nella zona di Cuneo.

Il metodo consiste nel mantenere nel terreno una concentrazione ottimale dei vari nutrienti attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva, la cui composizione è stabilita in base alle esigenze minerali della coltura in esame ed aggiustata in base ai risultati delle analisi degli estratti acquosi (1:2 volume/volume) raccolti ogni 2-4 settimane durante la coltivazione. Il metodo è utilizzato anche per stabilire gli eventuali interventi di dilavamento e di concimazione di arricchimento necessari prima dell'impianto della coltura (semina o trapianto), nel caso ad esempio di un'eccessiva salinità del terreno e/o di un contenuto insufficiente di uno o più elementi nutritivi. Il metodo è valido solo per N nitrico, K, Ca, Mg e S. Per gli altri elementi nutritivi (P, ammonio e microelementi) il metodo non è utilizzabile in quanto nel terreno le loro concentrazioni sono molto basse.

⁵ L. Incrocci



F = fertilizzazione in continuo

C = concimazione di fondo + (poche) concimazioni di copertura

Figura 4.8. Obiettivo della fertirrigazione è il mantenimento di una concentrazione ottimale dei nutrienti nel terreno.

La procedura per l'estrazione in acqua dei campioni di terreno è descritta nel Box 4.6.

Prima dell'inizio di una nuova coltura, normalmente si esegue un estratto acquoso del terreno e si confrontano i risultati della concentrazione dei principali nutrienti con i valori ottimali per la coltura in esame o per colture simili (Tab. 4.12). Se la EC dell'estratto acquoso (EC_{ES}) supera il valore massimo di EC per la coltura scelta (EC_{MAX}) o il contenuto di cloruri o di sodio è superiore a 3-4 mmol/L è consigliabile effettuare un dilavamento del terreno con una quantità di acqua (V_L , in L/m^2) calcolata secondo la seguente formula:

$$V_L = \frac{CI_{CC}}{100} \cdot E_L \cdot 1000 \cdot PR \quad \text{Eq. 4.25}$$

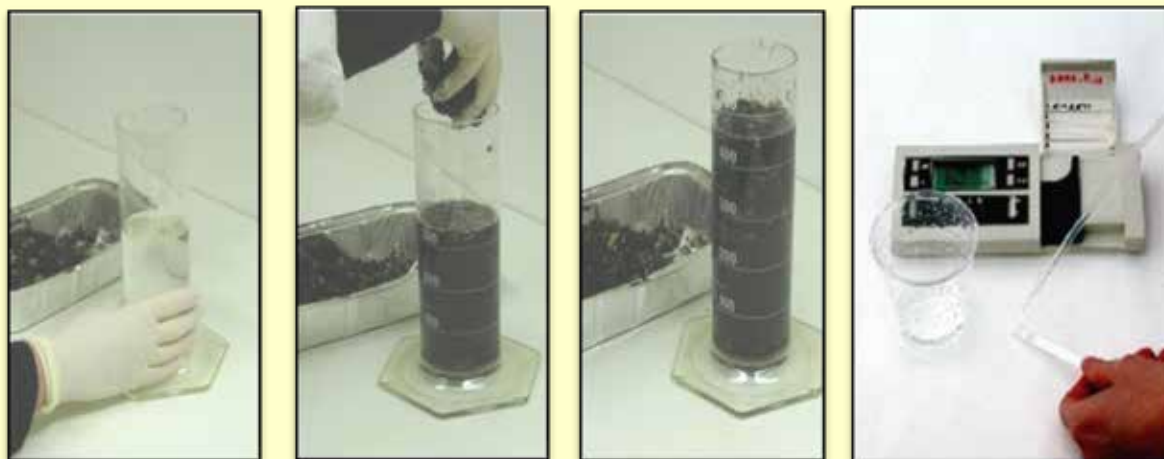
dove:

- CI_{CC} è il contenuto idrico del suolo alla capacità di campo (% in volume);
- E_L esprime l'efficienza del lavaggio, influenzata dalla tessitura del terreno che condiziona il movimento dell'acqua nel suolo. E_L può essere assunto pari a 1,25 per la maggior parte dei terreni con esclusione di quelli limo-argillosi (E_L pari 1,5) o argillosi (E_L pari a 2,0);
- PR (m) è la profondità esplorata dalle radici della coltura, normalmente pari a 0,25 m.

Box 4.6. Estrazione in acqua del terreno

Il campione di terreno viene estratto con acqua distillata o deionizzata con rapporto di estrazione 1:2 (in volume), 1 parte di terreno e 2 parti di acqua. Questo tipo di estrazione è poco influenzata dalla tessitura e dal contenuto di sostanza organica del terreno.

Il campione di terreno deve essere prima umidificato, aggiungendo lentamente acqua distillata e omogeneizzando il tutto fino al raggiungimento della capacità di campo (identificata in pratica dalla presenza di un velo di acqua sulla base del contenitore). Quindi, in un contenitore preferibilmente con tappo a vite, si aggiunge lentamente a due parti di acqua distillata (es. 400 mL) il terreno umidificato in modo da far aumentare il volume di una parte (es. 200 mL). Dopo aver agitato per 20 minuti, la sospensione viene filtrata su carta da filtro e sul filtrato si determina la conducibilità elettrica (EC) e il contenuto dei vari elementi nutritivi ed eventualmente degli ioni Na e Cl.



Normalmente l'analisi dell'estratto acquoso del terreno è eseguita da laboratori specializzati, ma la diffusione negli ultimi anni di kit rapidi per la determinazione dei principali nutrienti nelle acque, permette di effettuare queste analisi anche a livello aziendale, con un costo di pochi euro per analisi.

Tabella 4.12. Concentrazioni (mmoli/L) di riferimento di potassio, calcio, magnesio, nitrato e solfato nell'estratto acquoso 1:2 (v:v) del terreno per la concimazione di base e per la fertirrigazione di varie colture ortive in serra. Si riporta anche il valore massimo della EC (dS/m) dell'estratto acquoso.

Coltura	Valori guida estratto 1:2 v:v per la concimazione di fondo						Valori guida estratto 1:2 v:v per la fertirrigazione					
	EC max	K	Ca	Mg	NO ₃	SO ₄	EC _{OT}	K	Ca	Mg	NO ₃	SO ₄
Asparago, fagiolino fagiolo, fragola, mais dolce	1,50	1,00	1,50	1,00	2,00	2,00	0,80	1,00	1,50	1,00	2,00	2,00
Barbabietola, cime di rapa, finocchio, porro, portulaca, senape	1,50	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00	0,90	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00
Carota, cipolla	1,50	2,00	1,25	1,25	2,00	2,50	0,80	2,00	1,25	1,25	2,00	2,50
Cavoli, indivia, peperoncino, sedano, zucchina	1,50	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00	0,90	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00
Cetriolino per sottoaceto, cetriolo	2,20	1,80	2,20	1,20	4,00	1,50	1,00	1,80	2,20	1,20	4,00	1,50
Cicoria	1,50	1,20	1,20	0,80	1,50	0,80	0,80	1,20	1,20	0,80	1,50	0,80
Lattuga (primaverile)	1,50	2,80	3,25	1,00	4,50	3,50	0,80	2,80	3,25	1,00	4,50	3,50
Lattuga (estiva)	1,50	2,50	3,25	1,00	4,00	3,50	0,80	2,50	3,25	1,00	4,00	3,50
Lattuga (invernale)	1,50	3,00	3,25	1,00	5,00	3,60	1,20	3,00	3,25	1,00	5,00	3,60
Lattuga riccia	1,50	2,50	2,00	1,25	3,00	3,00	0,80	2,50	2,00	1,25	3,00	3,00
Melanzana	1,80	1,80	2,00	1,50	4,50	2,00	1,20	1,80	2,00	1,50	4,50	2,00
Melone	1,80	1,00	1,50	1,00	2,00	2,00	1,20	1,50	1,50	1,00	3,00	2,00
Patata	1,50	1,80	1,50	1,00	3,00	1,90	0,80	1,80	1,50	1,00	3,00	1,90
Peperone	2,00	2,00	2,50	1,20	4,50	2,00	1,10	2,00	2,50	1,20	4,50	2,00
Pomodoro	2,30	3,50	3,50	2,70	7,50	3,50	1,40	2,20	2,50	1,70	5,00	2,50
Ravanello (autunno-inverno)	2,00	3,00	3,00	1,00	3,00	3,50	1,20	3,00	3,00	1,00	3,00	3,50
Ravanello (primavera-estate)	1,50	2,00	1,50	0,75	2,00	2,25	0,80	2,00	1,50	0,75	2,00	2,25
Spinacio	2,20	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00	0,90	1,50	1,50	1,25	3,00	2,00

Tabella 4.13. Concentrazioni (mmoli/L) di ammonio, potassio, calcio, magnesio, nitrato e solfato nelle soluzioni nutritive standard da somministrare in fertirrigazione alle principali colture ortive coltivate in serra. La composizione delle soluzioni dovranno essere modificate in base ai risultati delle analisi dell'estratto acquoso del terreno.

Coltura	Soluzioni nutritive standard					
	NH ₄	K	Ca	Mg	NO ₃	SO ₄
Asparago, fagiolino fagiolo, fragola, mais dolce	0,20	2,70	1,30	0,70	5,50	0,70
Barbabietola, cime di rapa, finocchio, porro, portulaca, senape	0,40	3,00	1,40	0,70	6,00	0,80
Carota, cipolla	0,30	2,20	1,00	0,60	4,50	0,60
Cavolfiore, cavolo broccolo, cavolo cinese, cavolo rapa, indivia, peperoncino, sedano, sedano rapa, zucchina	0,40	3,00	1,40	0,70	6,00	0,80
Cetriolino per sottoaceto, cetriolo	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Cicoria	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Lattuga (autunno-primaverile)	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Lattuga (estiva)	0,40	3,40	1,60	0,90	7,00	0,90
Lattuga (invernale)	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Lattuga riccia	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Melanzana	0,90	3,50	2,00	1,00	8,40	1,00
Melone	0,40	4,00	2,00	1,00	8,40	1,00
Patata	0,90	3,10	1,80	1,00	7,60	1,00
Peperone	0,40	4,00	2,00	1,00	8,40	1,00
Pomodoro	0,40	5,00	2,00	1,50	9,40	1,50
Ravanello (autunno-inverno)	0,75	6,00	2,40	1,20	10,8	1,57
Ravanello (primavera-estate)	0,75	6,00	2,40	1,20	10,8	1,57
Spinacio	0,40	3,00	1,40	0,70	6,00	0,80

Dopo un lavaggio è sempre consigliato effettuare un nuovo estratto acquoso del terreno, per controllare l'efficacia di questo.

La concimazione di base ha lo scopo di riportare sui valori ottimali la concentrazione di K, Ca, Mg, N e S nella zona radicale e il rapporto fra i vari nutrienti. Se la concentrazione di uno di questi elementi nell'estratto acquoso è inferiore a quella ottimale, la quantità di elemento da apportare (X_F , dove X è l'elemento nutritivo in esame, in kg/ha) può essere calcolata secondo la seguente formula:

$$X_F = f_X \cdot (CX_{opt} - CX) \left(1 - \frac{SC}{100}\right) \quad \text{Eq. 4.26}$$

dove:

· CX_{opt} e CX (mmoli/L), sono rispettivamente la concentrazione ottimale e quella misurata

nell'estratto acquoso per l'elemento nutritivo considerato;

- SC rappresenta il contenuto (%) di scheletro (dimensione delle particelle > 2mm);
- f_x (kg/mmol per ha) è un coefficiente che indica i kg da aggiungere in un ha di terreno per una profondità di 0,25 m, per far aumentare di una mmole/L l'estratto acquoso del terreno. I valori di f_x sono pari a 179, 78, 64, 62, e 103 kg/mmol per ha rispettivamente per N, S, K, Ca e Mg.

Dopo l'emergenza o il trapianto, ogni 2-4 settimane si misurano le concentrazioni dei vari nutrienti nell'estratto acquoso dei campioni di terreno raccolti in serra (almeno 2 campioni per 1000 m², ciascuno composto da 2-3 sub-campioni). I valori sono quindi confrontati con i valori-guida specifici per la coltura in esame (Tab. 4.12): questi valori sono molto simili a quelli utilizzati per la concimazione di base.

La composizione della soluzione nutritiva standard (CX_{solst} ; Tab. 4.13) viene modificata solo se CX è inferiore o superiore a CX_{opt} del 25% (Fig. 4.9). La nuova concentrazione del nutriente nella soluzione nutritiva viene calcolata nel modo seguente:

se inferiore: $CX_{sol} = \left[1 + \frac{(0,75 \cdot CX_{opt} - CX)}{CX_{opt}} \right] \cdot CX_{solst}$ **Eq. 4.27**

se superiore: $CX_{sol} = \left[1 - \frac{(CX - 1,25 \cdot CX_{opt})}{(2CX_{opt} - 1,25 CX_{opt})} \right] \cdot CX_{solst}$ **Eq. 4.28**

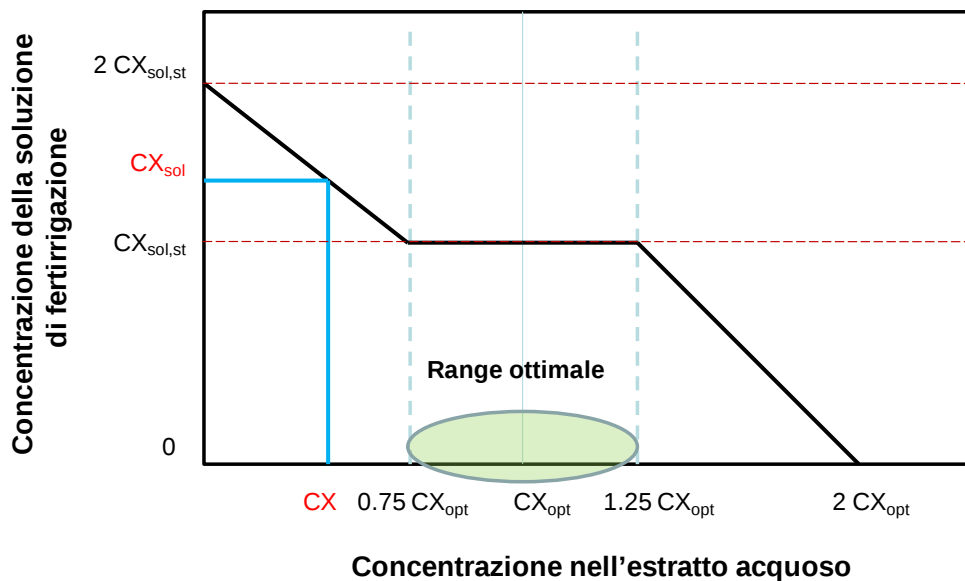


Figura 4.9. Rappresentazione grafica del metodo sviluppato da C. Sonneveld per la gestione della fertirrigazione in serra. La concentrazione dell'elemento X nella soluzione nutritiva standard (CX_{solst}) è modificata solo se la sua concentrazione nell'estratto acquoso del terreno (CX) differisce per più del 25% dal valore ottimale (CX_{opt}). La concentrazione dell'elemento nella soluzione nutritiva può variare fra 0 e il doppio di CX_{solst} . In questo esempio, poiché CX è inferiore all'intervallo ottimale, CX_{sol} viene aumentata.

Box 4.7. GREEN-FERT

GREEN-FERT (*GREENhouse soil FERTilization manager*) è un foglio Excel sviluppato da L. Incrocci (Università di Pisa) per calcolare sia le dosi di nutrienti da distribuire con la concimazione di fondo, sia la composizione della soluzione di fertirrigazione. GREEN-FERT implementa il metodo proposto da Sonneveld and Voogt (2009) e basato sull'analisi dell'estratto acquoso dei campioni di terreno raccolti prima e durante la coltivazione. GREEN-FERT si compone di tre sezioni:

- 1) database: sono riportate per un centinaio di specie ortive e ornamentali le concentrazioni ottimali dei vari nutrienti nell'estratto acquoso del terreno da utilizzare per concimazione di base e per la fertirrigazione, e la composizione della soluzione nutritiva standard. Per ogni coltura, sono riportate anche la EC massima dell'estratto acquoso tollerata dalla coltura e quella ottimale nella soluzione di fertirrigazione;
- 2) calcolatore per la concimazione di fondo: le dosi di nutrienti da somministrare sono calcolate in base a: i) le concentrazioni dei vari elementi minerali (N-NO₃, P-PO₄, K, Ca, Mg, S-SO₄, Cl) nell'estratto acquoso; ii) la granulometria del terreno e il suo contenuto idrico volumetrico alla capacità di campo; iii) la percentuale di scheletro nel volume di campione di terreno; iv) la profondità delle radici della coltura. Il software controlla se è necessario eseguire un dilavamento del terreno (EC dell'estratto acquoso superiore alla EC_{MAX}), suggerendo anche il volume d'acqua necessario in base alle caratteristiche del terreno.
- 3) calcolatore per la fertirrigazione: in questa sezione, inserendo i dati delle concentrazioni di elementi (N-NO₃, P-PO₄, K, Ca, Mg, S-SO₄, Cl) ottenuti nell'estratto acquoso, si calcolano le eventuali modifiche da apportare alla soluzione nutritiva standard per mantenere costante e ottimale la concentrazione dei nutrienti nel suolo.

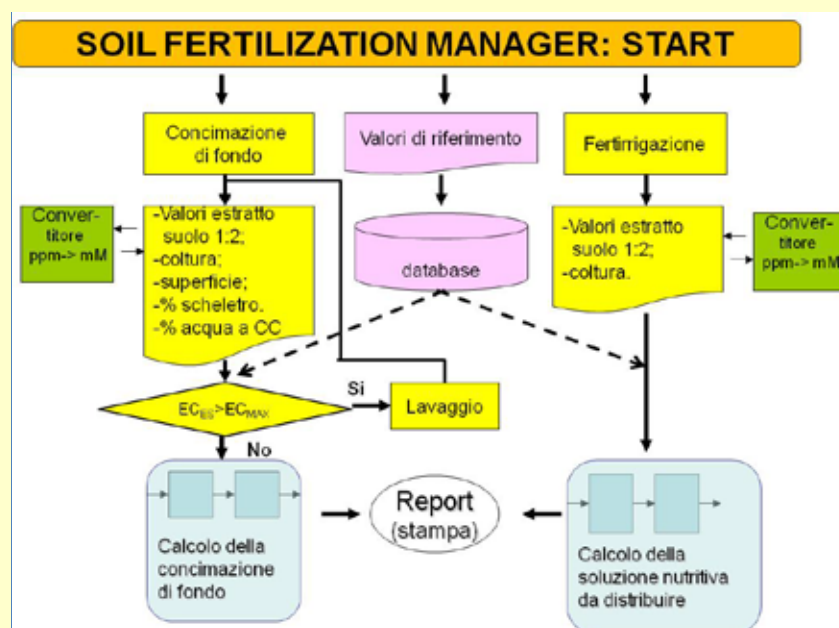


Diagramma di flusso di GREEN-FERT

Box 4.8. SOL-NUTRI

SOL-NUTRI è stato ideato da L. Incrocci (Università di Pisa) ed è disponibile come file eseguibile oppure come file Excel. SOL-NUTRI permette di calcolare la composizione delle soluzioni stock normalmente utilizzate per la fertirrigazione di colture a terra e fuori suolo in serra e in vivaio.

Il software si avvale di due database, che l'utente può modificare: uno per le formule (ricette) nutritive e uno per le caratteristiche dei concimi e degli acidi utilizzati nel calcolo. Il calcolo è effettuato in tre *step* successivi:

- 1) l'utente inserisce i necessari per il calcolo: composizione, pH e EC della acqua irrigua e della soluzione nutritiva da distribuire alla coltura; volume e fattore di concentrazione delle due soluzioni stock e della soluzione di acido;
- 2) il software calcola la concentrazione di acidi e/o sali delle soluzioni stock, effettuato automaticamente o manualmente (opzione consigliata solo agli utenti esperti); il software informa l'utente anche sul rischio di precipitazioni saline nel caso di soluzioni stock particolarmente concentrate;
- 3) stampa del report.

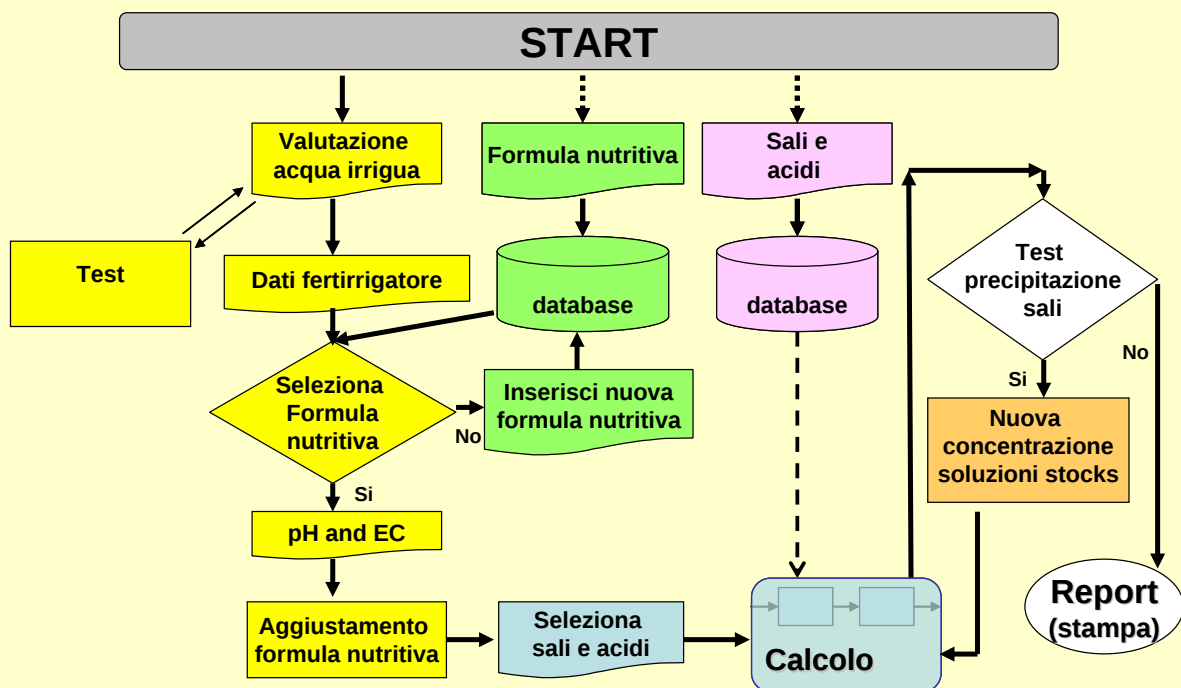


Diagramma di flusso del software SOL-NUTRI.

Dopo avere eventualmente modificato la concentrazione dei vari nutrienti, occorre effettuare il bilanciamento fra i cationi e gli anioni, modificando il rapporto fra N nitrico e N ammoniacale, tenendo presente che la concentrazione dell'N ammoniacale non dovrebbe mai superare 3 mmoli/L, per evitare possibili fenomeni di fitotossicità sulle piante.

Per il P si utilizza una procedura differente dagli altri nutrienti a causa della sua scarsa solubilità in acqua: nel caso che la sua concentrazione nell'estratto acquoso sia superiore a 0,10, compresa fra 0,10 e 0,05, o inferiore a 0,05 mmoli/L, la concentrazione di P nella soluzione nutritiva sarà rispettivamente pari a 0, 0,5 o 1,0 mmole/L.

L'aggiustamento della concentrazione della soluzione nutritiva standard ha lo scopo di mantenere costante non solo il livello di nutrienti nel suolo, ma anche il rapporto fra questi. Inoltre, il confronto fra la EC dell'estratto acquoso e quella ottimale per la coltura (Tab. 4.12) forniscono indicazioni per l'irrigazione, suggerendo il valore più opportuno della frazione di drenaggio (ossia del surplus irriguo) in modo da minimizzare le perdite di nutrienti per lisciviazione. Durante l'inverno, quando la disponibilità di luce è minore, il mantenimento di un valore di EC più alto (anche attraverso anche l'aggiunta di ioni non essenziali come i cloruri) è un metodo per migliorare la qualità del prodotto, come ad esempio nella lattuga e nel ravanello.

Per facilitare l'applicazione del metodo ora descritto, è stato sviluppato un foglio di calcolo, denominato GREEN-FERT (*Greenhouse Fertilization Manager*) e descritto sinteticamente nel Box 4.7, che può essere scaricato gratuitamente (insieme alla *Guida Utente*) dai siti www.azort.it e www.cespevi.it/softunipi/softunipi.htm. Inoltre, per la preparazione delle soluzioni nutritive è disponibile il foglio di calcolo SOL-NUTRI (Box. 4.8), anch'esso scaricabile dai siti web sopra indicati.

4.6. LE COLTURE IDROPONICHE⁶

Tutti i sistemi di coltivazione senza suolo, con o senza substrato, hanno un elemento in comune: la distribuzione dei nutrienti essenziali (tranne il carbonio) mediante una soluzione nutritiva. I principi della nutrizione minerale delle piante coltivate senza suolo non sono diversi da quelli delle piante allevate su terreno. La principale differenza tra i due sistemi, che giustifica la particolare gestione della soluzione nutritiva nelle coltivazioni senza suolo, è rappresentata dal ridotto volume di substrato (e/o di soluzione nutritiva) a disposizione di ciascuna pianta. Anche per questo, una delle caratteristiche più rilevanti delle soluzioni nutritive è la concentrazione ionica dei nutrienti, che di solito è decisamente maggiore di quella, pur variabile, della soluzione circolante del terreno (Tab. 4.14).

Le piante non hanno bisogno per la loro crescita di concentrazioni dei nutrienti alte come quelle riportate in Tab. 4.14 per le coltivazioni senza suolo. Si utilizzano concentrazioni così elevate nelle coltivazioni senza suolo per garantire una buona riserva nutritiva e per procedere con maggiore semplicità nella preparazione, nel controllo (ad esempio della conducibilità elettrica, EC) e nella reintegrazione della soluzione nutritiva.

⁶ P. Santamaria

Tabella 4.14. Concentrazione dei macronutrienti (mmoli/L) nel terreno e nelle soluzioni nutritive per idroponica.

Nutrienti	Terreno	Senza suolo
N-NO ₃	0,5 - 10 (di solito <1-2)	5 - 20
N-NH ₄	0,02 - 0,05	0,5 - 2
P-H ₂ PO ₄	0,005 - 0,05	0,5 - 2
K ⁺	0,2 - 2	5 - 10
Ca ²⁺	0,5 - 4	3 - 6
Mg ²⁺	0,2 - 2	1 - 2
S-SO ₄	0,1 - 2	1,5 - 4

Spesso la composizione della soluzione nutritiva riflette la composizione chimica della pianta coltivata, piuttosto che quella della soluzione circolante del terreno. In tali condizioni, le piante “sprecano” meno energia per asportare attivamente i nutrienti. Tuttavia, i rapporti di asportazione tra nutrienti ed acqua variano ampiamente in risposta alle differenti condizioni climatiche, anche nella stessa giornata. Per questo motivo, di solito si suggeriscono concentrazioni di nutrienti più elevate rispetto a quelle previste dal rapporto di asportazione tra nutrienti ed acqua, al fine di garantire una sufficiente disponibilità di tutti i nutrienti. Del resto, non va dimenticato che le soluzioni del terreno sono tamponate meglio da reazioni di scambio ionico, assorbimento-deassorbimento, dissociazione e precipitazione, così come dal ciclo dei nutrienti e dalla mineralizzazione della sostanza organica. L’assenza di una simile capacità tampone nei sistemi di coltivazioni senza suolo impone di usare concentrazioni alte di nutrienti.

La concentrazione di N nelle soluzioni nutritive

Nella preparazione della soluzione nutritiva, l’N è l’unico nutriente che può essere aggiunto all’acqua (e utilizzato dalle piante) in forma di anione (NO₃⁻) e/o catione (NH₄⁺), senza dover necessariamente aggiungere contemporaneamente un altro elemento (Tab. 4.15). Ad esempio, quando neutralizziamo l’alcalinità dell’acqua di partenza o correggiamo il pH della soluzione nutritiva con acido nitrico (HNO₃) o quando lo distribuiamo sotto forma di nitrato ammonico (NH₄NO₃). Queste caratteristiche dell’N hanno un notevole effetto sulla nutrizione delle piante, nonché sulla gestione della soluzione nutritiva, sulla produzione e sulla qualità dei prodotti ottenuti con le coltivazioni senza suolo.

Il fabbisogno di N dipende dalla specie e, nell’ambito di questa, dalla cultivar utilizzata. Per esempio, la lattuga e gli altri ortaggi da foglia richiedono quantità più alte di N rispetto al pomodoro. La velocità di asportazione dell’N da parte degli ortaggi da foglia è caratterizzata da una curva esponenziale, e aumenta notevolmente nel tempo, mentre l’asportazione di N da parte di pomodoro si stabilizza o addirittura diminuisce durante l’ingrossamento delle bacche.

La conoscenza del tasso di crescita di una coltura, che è funzione non solo delle caratteristiche genetiche ma anche di quelle ambientali e colturali, è fondamentale per una corretta scelta e reintegrazione (nei sistemi chiusi) della soluzione nutritiva. Quanto più elevata è la produzione di biomassa, tanto maggiori sono le esigenze nutritive e più facilmente possono insorgere squilibri nutrizionali. In condizioni di radiazione solare elevata le piante usano più N: durante i giorni estivi, con molte ore di sole, la pianta ha bisogno di più N rispetto ai giorni invernali caratterizzati da giornate corte e cielo spesso coperto.



Coltivazione di rucola su pannelli galleggianti.

Tabella. 4.15. Caratteristiche dei fertilizzanti azotati usati nelle coltivazioni senza suolo.

Concime	Formula chimica	Azoto presente (%)	Peso molecolare (g)
Acido nitrico (100%)	HNO_3	22	63,0
Nitrato ammonico	NH_4NO_3	35	80,0
Nitrato di calcio	$5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]\text{NH}_4\text{NO}_3$	15,5	1080,5
Nitrato di magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	11	256,4
Nitrato di potassio	KNO_3	13	101,1
Fosfato monoammonico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	12	115,0
Solfato di ammonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21	132,2

Un altro fattore che deve essere considerato è il sistema di coltivazione senza suolo utilizzato. La differenza principale si verifica tra sistemi che prevedono l'impiego di un substrato, come lana di roccia o torba, dove i nutrienti sono aggiunti all'ambiente radicale ad intervalli, e l'NFT (Nutrient Film Technique), dove la soluzione nutritiva scorre e ricircola alimentando continuamente le radici. Nei sistemi su substrato, tra due interventi fertirrigui si verificano fluttuazioni e sottrazioni di nutrienti, come conseguenza dell'asportazione di elementi necessari alla pianta. Pertanto, le concentrazioni dei nutrienti sono decisamente in eccesso rispetto ai valori trovati solitamente nella soluzione circolante del terreno. Invece, nell'NFT gli ioni asportati dalle radici sono riforniti continuamente. Ciò simula più da vicino la soluzione circolante del terreno e di conseguenza, in un sistema NFT, le piante tollerano livelli di nutrienti più bassi rispetto ai sistemi su substrato. Proprio perché il rifornimento nutritivo è migliore, generalmente le piante allevate in NFT sono più vigorose e più facilmente eccedono nel consumo di alcuni elementi, ad esempio di NO_3^- (consumo di lusso).

Nei sistemi che utilizzano un substrato, a parità di specie coltivata, la concentrazione degli elementi nutritivi è più alta quando la soluzione viene distribuita dall'alto verso il basso, piuttosto che dal basso verso l'alto (per subirrigazione, cioè), poiché in quest'ultimo caso non c'è l'effetto dilavante determinato per gravità dalla soluzione nutritiva e i sali si concentrano nel substrato per risalita capillare.

Infine, per i sistemi senza suolo a ciclo aperto, con distribuzione della soluzione nutritiva dall'alto verso il basso, la frequenza degli interventi ha un effetto maggiore della concentrazione nutritiva: la produzione sarà maggiore aumentando la prima piuttosto che la seconda variabile della gestione della soluzione nutritiva.

L'N può oscillare tra 10 e 20 mM, rispettivamente, in un sistema a ciclo chiuso e in uno aperto con il 20-30% di drenaggio; in ogni caso, la concentrazione minore può essere utilizzata nelle prime fasi del ciclo colturale del pomodoro, quella maggiore per la lattuga.

Inoltre, numerosi studi hanno dimostrato la possibilità di allevare normalmente le piante anche con concentrazioni 100 volte più basse di quelle utilizzate nelle coltivazioni senza suolo (Tab. 4.15), purché le stesse concentrazioni siano mantenute costanti.

Effetti della forma chimica dell'azoto

La fonte dell'N influenza il pH della rizosfera e i processi fisiologici, soprattutto nelle coltivazioni senza suolo. Nel terreno e in alcuni substrati dotati di capacità di scambio cationica, il rapido adsorbimento sul complesso di scambio della fase solida e le reazioni di nitrificazione diminuiscono il contenuto di NH_4^+ e, quindi, di solito, la concentrazione di NH_4^+ nella rizosfera è bassa, anche quando si utilizza un rapporto $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ elevato. Tuttavia, la concentrazione di NH_4^+ può essere alta nei substrati inerti, quando si effettuano frequenti fertirrigazioni e nei sistemi di coltivazione in mezzo liquido. L'asportazione di NH_4^+ riduce l'assorbimento di cationi, mentre l'asportazione di NO_3^- deprime l'assorbimento di anioni. L'eccesso di cationi ed anioni nelle piante è bilanciato dagli acidi organici (Fig. 4.10).

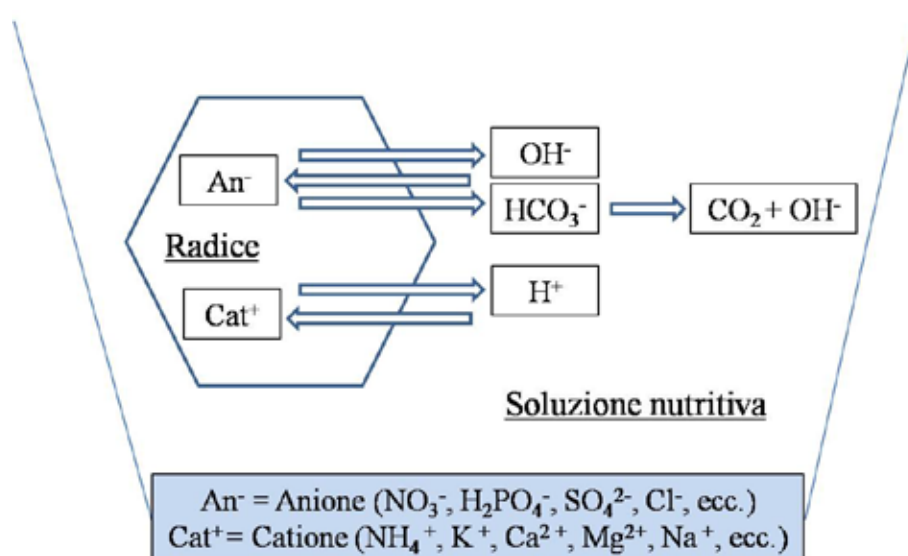


Figura 4.10. Effetto dell'assorbimento minerale sul pH del mezzo di crescita.

Nei periodi di sufficiente radiazione solare e rapida crescita, l'asportazione degli anioni supera quella dei cationi, a causa dell'elevato assorbimento di NO₃⁻ e della sua utilizzazione nel metabolismo delle piante. In termini di potenziale elettrochimico, l'assorbimento di anioni, se supera quello dei cationi, viene compensato dal rilascio di HCO₃⁻ e OH⁻ da parte delle radici (Fig. 4.10). Come risultato, il pH della soluzione nutritiva nella rizosfera aumenta. Tuttavia, in condizioni di scarsa radiazione solare l'attività della nitrato-riduttasi diminuisce, imponendo così una riduzione nell'utilizzo dei NO₃⁻ da parte della pianta e, contemporaneamente, dell'assorbimento di NO₃⁻. Di conseguenza, l'assorbimento totale di anioni si riduce. Un assorbimento più rapido di cationi rispetto agli anioni viene compensato dal rilascio di H⁺ da parte delle radici (NO₃⁻). Quindi, in condizioni di luce scarsa, il pH della zona radicale non tende ad aumentare rapidamente, mentre in alcuni casi potrebbe anche diminuire. Invece, la diminuzione di assorbimento di cationi conseguente alla nutrizione con NH₄⁺ riduce il contenuto di acidi organici nelle piante e l'estrusione di HCO₃⁻ dalle radici.

Aumentando la disponibilità di NH₄⁺ o la concentrazione totale di N (in presenza di entrambe le forme chimiche di N e con rapporto NH₄⁺/NO₃⁻ fisso) o il rapporto NH₄⁺/NO₃⁻ (mantenendo fissa la concentrazione di N), si ha una forte riduzione del pH nel mezzo di crescita, anche a causa del suo ridotto volume. Anche se, a volte, la riduzione del pH del mezzo di crescita può essere utilizzata per superare disordini della crescita indotti dalla carenza di micronutrienti, occorre considerare che alte concentrazioni di NH₄⁺ sono tossiche per la maggior parte delle piante, soprattutto con alte temperature radicali ed elevata salinità (condizioni che possono verificarsi più facilmente nel senza suolo che nel terreno). In ogni caso, poiché NH₄⁺ deprime il contenuto di Ca²⁺, nelle colture sensibili, quali pomodoro e peperone, l'NH₄⁺ non dovrebbe superare il 10% dell'N totale fornito attraverso la fertirrigazione. In percentuale maggiore l'NH₄⁺ può essere utilizzato per lattuga, cicoria, sedano e, soprattutto, indivia (Fig. 4.11), con riflessi positivi sulla qualità del prodotto.



Fig. 4.11. Indivia alimentata con N in forma esclusivamente nitrica o ammoniacale.

Azoto e qualità dei prodotti

In generale, gli ortaggi da foglia possono tollerare livelli di N più alti, poiché l'N promuove la crescita vegetativa. Di solito, con l'N aumenta il contenuto di acqua degli ortaggi da foglia. Anche se occorre ricordare che con l'aumentare della disponibilità di N aumenta l'accumulo di NO_3^- , ione potenzialmente tossico per l'uomo. L'N promuove la vigoria delle piante e ritarda il passaggio dalla fase vegetativa a quella riproduttiva, con conseguente ritardo della maturazione dei frutti.

È possibile migliorare la qualità degli ortaggi da foglia attraverso la gestione della soluzione nutritiva o la modifica della sua composizione. Ad esempio, è possibile ridurre sensibilmente il contenuto di NO_3^- degli ortaggi da foglia mediante l'eliminazione di N-NO_3 o la sua sostituzione con cloruri, solfati o NH_4^+ nella soluzione nutritiva pochi giorni prima della raccolta. D'altra parte, l'uso dell' NH_4^+ nelle solanacee da frutto coltivate senza suolo può aumentare l'incidenza del marciume apicale.

BIBLIOGRAFIA

Assimakopoulou, A., 2006. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Sci. Hortic.* 110, 21-29.

- Biemond, H., Vos, J., Struik, P.C., 1996. Effects of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen of vegetables .3. Spinach. *Neth. J. Agric. Sci.* 44, 227-239.
- Boogaard, H.L., De Wit, A.J.W., Roller, J.A. Van Diepen, C.A., 2011. WOFOST control centre 1.8; user's guide for the WOFOST control centre 1.8 and the crop growth simulation model WOFOST. <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Research-Institutes/alterra/Facilities-Products/Software/WOFOST.htm>
- EFSA, 2008. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. *EFSA Journal* 689, 1-79. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/689.htm>.
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R., 1960. Untersuchungen uber die chemische Bodenanalysen als grundlage fur die beurteilung des Nahrstoffzustandes der Boden. II Chemische Extraction-smethoden zur Phosphor-und Kalibestimmung. *K. Landbr. Hogsk. Annlr.* 26, 199-215.
- Maracchi, G., Fibbi, L., Bindi, M., 1996. Modelli di simulazione delle colture agrarie. *Quaderno CeSIA*, n°23: 219 p.
- Masoni, A. (Ed.), 2010. Riduzione dell'Inquinamento delle Acque dai Nitrati Provenienti dall'Agricoltura. Felici Editore, Pisa. <http://risorseidriche.arsia.toscana.it/pagebase.asp?p=1573>.
- Mary, B., Guérif, J., 1994. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. *Cahiers Agriculture*, 3, 247-257.
- Saxton, K.E, Rawls, W., J, 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci.* 70, 1569–1578.
- Sonneveld C., Van den Ende, J., De Bes, S., 1990. Estimating the chemical composition of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 by volume extracts. *Plant Soil* 122, 169-175.
- Sonneveld, C., 1993. Mineralenbalansen bij kasteelten. Meststoffen, NMI Wageningen, 44-49.
- Sonneveld, C., Voogt, W., 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crop*. Springer, 423 pp.
- Van den Bos, A.L., De Kreij, C., Voogt, W., 1999. Bemestingsadviesbasis grond. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk, Brochure PPO, 171, 54 pp.
- Verbruggen, J., 1985. "Simulatie van het denitrificatieproces in de bodem." Doctoraatproefschrift Nr. 140 aan de Faculteit der Landbouwwetenschappen van de K.U. Leuven, 180 p.

Capitolo 5 - FINOCCHIO

Maria Gonnella, Pietro Santamaria, Alessandra Moncada, Alessandro Miceli, Filippo Vetrano, Giulia Camerata Scovazzo e Fabio D'Anna

5.1. INTRODUZIONE⁷

Con circa 21.400 ha coltivati e una produzione media di 23 t/ha, l'Italia ha il primato della produzione del finocchio (*Foeniculum vulgare* Miller var. *azoricum*, Fam. *Apiaceae*) nel mondo, perché la coltivazione non è molto diffusa altrove, se non in Francia ed alcuni Paesi dell'Europa orientale. In Italia si coltiva prevalentemente in Puglia (6.300 ha), Campania (3.370 ha), Abruzzo (2.400 ha), Calabria (2.100 ha) e Sicilia (1.835 ha).

Nelle regioni meridionali, soprattutto nelle aree costiere, la produzione è tipicamente invernale allungandosi fino alla primavera, mentre l'Abruzzo con la piana del Fucino si distingue per la produzione estiva che diventa complementare con quella delle altre regioni in modo da coprire quasi tutto l'arco dell'anno per la presenza sul mercato.

Il finocchio è consumato prevalentemente crudo e apprezzato per la croccantezza, il sapore particolare e l'elevata presenza di fibra. Viene utilizzato anche in numerose ricette come prodotto cotto. Apprezzato per le capacità digestive e diuretiche, il finocchio è molto ricco di acqua e sali minerali e, per il basso valore energetico, viene consigliato nelle diete ipocaloriche. Ha un contenuto di sostanza secca del 5-6% circa, costituito da 1 g di proteine, 2,5 g di carboidrati e 0,5 g di fibra, con una discreta quantità di potassio.

Caratteristiche botaniche ed agronomiche

Il finocchio è originario del bacino del Mediterraneo ed è una specie biennale ma annuale in coltura: al primo anno forma il grumolo, al secondo anno emette lo scapo fiorale per la produzione del seme. La pianta è dotata di un apparato radicale fittonante se originato da semina diretta, ramificato e superficiale quando proveniente da trapianto.

Tutte le parti verdi hanno un odore caratteristico e le foglie, pennatosette, hanno la lamina divisa in lacinie filiformi e un grosso picciolo verde terminante alla base con guaine bianche amplessicauli sovrapposte le une alle altre. L'insieme delle guaine e dello stelo raccorciato centrale costituisce la parte edule detta 'grumolo' o 'falso bulbo'. Questo può pesare, in funzione della varietà e dello stadio di raccolta, da 250 ad oltre 600 g.

Il finocchio è una specie piuttosto esigente, in termini pedologici e climatici. Predilige terreni sciolti e non troppo compatti, ben drenati, con elevato contenuto di sostanza organica e ben dotati in elementi fertilizzanti assimilabili dalla pianta. Sono da evitare terreni troppo

⁷ M. Gonnella e P. Santamaria

sciolti, nei quali una crescita eccessiva della pianta va a discapito delle dimensioni del grumolo (più il terreno diventa sabbioso più aumenta il rapporto in peso foglie/grumolo), o troppo compatti nei quali il grumolo riesce con difficoltà ad accrescersi adeguatamente. Perciò che attiene le condizioni termiche preferisce climi miti con temperature di 15-20 °C; teme sia le temperature molto alte, perché la formazione del grumolo viene rallentata o bloccata da uno sviluppo florale anticipato, sia il freddo in quanto con temperature intorno ai 4 °C la pianta arresta la crescita. Un'esposizione prolungata a temperature prossime a 0 °C determina gravi lesioni e necrosi localizzate sui grumoli. Per la crescita vegetativa, lenta durante il primo mese, predilige temperature comprese tra 15-20 °C.

Il miglioramento genetico punta all'ottenimento di grumoli di forma rotondeggiante, poco allungata, oltre che alla resistenza alle principali malattie (marciumi molli da *Erwinia carotovora*, infezioni di funghi dei genere *Phytophthora* e *Sclerotinia*). Le cultivar si distinguono in base alla precocità: 1) precoci con ciclo di 80-90 giorni e grumoli più piccoli (400-500 g), adatte alle semine primaverili, da quelle a ciclo medio (110-130 giorni); 2) tardive (oltre 160 giorni) che riguardano le semine estive.

L'impianto avviene in genere per semina diretta o trapianto per cicli brevi e tardivi. Richiede un terreno sciolto e ricco di sostanza organica, che deve essere preparato con un'aratura profonda 40 cm. Le distanze tra le file sono di 40-50 cm e sulla fila di 15-20 cm, ottenute con il diradamento in caso di semina. Le esigenze nutritive sono dell'ordine di 180-250 kg/ha di N, 80-150 kg/ha di P₂O₅ e 100-150 kg/ha di K₂O.

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata è determinante per la produzione, ma soprattutto per la qualità organolettica dei grumoli. La somministrazione di N è indispensabile per conseguire discreti livelli produttivi. Con nulli o insufficienti apporti di N si ottengono grumoli non commerciabili, oltre che per le ridotte dimensioni, soprattutto per insufficiente ingrossamento del grumolo, scarso ispessimento delle guaine ed eccessiva fibrosità e consistenza delle porzioni eduli. D'altra parte, l'eccessiva somministrazione di N riduce la sapidità, aumenta la suscettibilità a malattie a carico della parte basale della pianta (*Sclerotinia*, *Erwinia*) e soprattutto aumenta l'accumulo dei nitrati.

Il finocchio è classificato come ortaggio a medio-alto contenuto di nitrati con valori compresi tra 1000 - 2500 mg/kg di peso fresco (p.f.) (Santamaria *et al.*, 2002), mentre nella classificazione di Corré e Breimer (1979) è riportato tra le specie che accumulano da 200 a 500 mg/kg p.f.. In realtà, la specie tende ad accumulare grandi quantità di nitrati, ma nelle lamine piuttosto che nel picciolo (la porzione edule), pur rappresentando questa una parte di foglia. Trattandosi di un organo di traslocazione, il contenuto di nitrato è molto variabile. In un'indagine sul contenuto di nitrati in ortaggi acquistati sui mercati in Italia meridionale è stato riscontrato un contenuto di nitrati compreso tra 100 e 770 mg/kg p.f. (Santamaria *et al.* 1999a), mentre negli esperimenti svolti in Abruzzo nell'ambito del progetto AZORT il contenuto di nitrati nei grumoli è variato da 200 a 440 mg/kg p.f. somministrando da 0 a 200 kg/ha di N; al contrario, le lamine hanno accumulato fino a 5.900 mg/kg p.f.

In letteratura esistono pochi studi sulle esigenze nutritive e culturali del finocchio. La somministrazione di 122 kg/ha di N ha consentito di ottenere produzioni simili a quelle fornite dalla dose di 175 kg/ha e in entrambi i casi la produzione è più che raddoppiata rispetto a quella ottenuta nel trattamento non concimato (15 vs 37 t/ha) (Morra *et al.*, 2009). Rispetto alla somministrazione di N nelle forme ridotta e ossidata, giovani piante di finocchio sono risultate indifferenti ai rapporti tra le forme azotate applicate (Santamaria *et al.*, 1999b). In presenza di NH_4^+ la specie ha formato un apparato radicale compatto, con radici più corte ma molto ramificate che hanno migliorato l'efficienza di assorbimento dell'N dalla soluzione nutritiva (Santamaria *et al.*, 1999b).

Poiché il finocchio predilige terreni sciolti e ricchi di sostanza organica, la concimazione azotata nella pratica colturale viene spesso effettuata mediante apporti lauti di concimi organici (es. pollina). Nella sperimentazione effettuata in Campania dal CRA-CAT di Scafati sui concimi a lento rilascio non sono emerse risposte rilevanti in confronto alla tradizionale somministrazione di nitrato ammonico frazionata in tre interventi (pre-impianto e copertura). Quest'ultima ha fornito i migliori risultati produttivi ed il miglior recupero apparente di N dal concime (62% vs 56% di "Entec" e 37%, in media, per Record e Rhizovit). I risultati sono stati attribuiti alle basse temperature nel ciclo autunno-vernino che potrebbero aver ostacolato l'attività microbica del suolo (Morra *et al.*, 2009).

5.2. FINOCCHIO IN ABRUZZO⁸

Dei 2.400 ha di finocchio censiti in Abruzzo, circa l'85% è concentrato nella provincia dell'Aquila, nel Fucino. Il finocchio è infatti una delle colture caratterizzanti della produzione orticola dell'Altopiano del Fucino in Abruzzo, insieme a carota, patata e radicchio.

Le produzioni unitarie di finocchio si aggirano intorno a 25 t/ha, corrispondenti a circa 50.000 t per l'intera area (Istat, 2010). La produzione orticola del Fucino è organizzata nel Consorzio di Tutela e Valorizzazione degli Ortaggi dell'Altopiano del Fucino (CO.T.O.F.) e in diverse organizzazioni di produttori.

L'area pedo-climatica presa in considerazione si distingue nel comparto orticolo nazionale sotto diversi aspetti. Si tratta di un bacino molto fertile, interamente pianeggiante, di superficie pari a 13.000 ha, collocato al centro della regione, a 700 m sul livello del mare e racchiuso dalle montagne, che contribuiscono a creare il microclima particolare che fa assumere definite peculiarità organolettiche ai prodotti orticoli, riconosciute ed apprezzate dai consumatori (sapore dolce e scarsa fibrosità del grumolo, nel caso del finocchio). La posizione ed il clima impongono di produrre ortaggi quasi esclusivamente durante il periodo estivo fino ai primi mesi autunnali. Per il finocchio questo aspetto non è trascurabile, poiché consente la collocazione delle produzioni orticole estive del Fucino nella parentesi di vuoto della produzione nazionale, che invece riguarda l'arco dell'anno da novembre alla primavera inoltrata.

La coltivazione avviene su una terra geologicamente di recente formazione e poco

⁸ M. Gonnella e P. Santamaria

sfruttata, fertile, ricca di humus grazie alla sostanza organica che nel corso dei secoli si è continuamente depositata sul fondo del preesistente lago. Il clima primaverile-estivo è particolarmente favorevole alle colture, mite, mai secco in estate, con distribuzione uniforme di 800 mm di pioggia durante le diverse stagioni.

Le tipologia varietali sono diversificate per forma e precocità. Le principali cultivar di finocchio coltivate nel Fucino sono: 'Amigo', 'Pronto' e 'Rondo' F₁ tra le precoci, 'Carmo' F₁ ed 'Orion' F₁, tra le medio-tardive.

Il finocchio è generalmente avvicendato con le altre colture orticole tipiche della produzione dell'Altopiano. All'interno della stessa azienda sono contemporaneamente presenti più colture appartenenti al settore orticolo (carota, radicchio, indivie, lattuga, cavoli e patata). Le colture di finocchio del Fucino vengono avviate in un arco di tempo piuttosto ampio, con trapianti anticipati sin da marzo, quando vengono coperte con 'tessuto non tessuto', e proseguono fino agli inizi del mese di agosto. Le raccolte, in funzione delle cultivar utilizzate (con ciclo vegetativo che va da 90 a 120 giorni), iniziano in giugno e si completano a novembre.

Le colture primaverili precoci, ad accrescimento minore, sono generalmente seminate o trapiantate a file distanti 30-40 cm con densità finale di 13-15 piante/m². Le colture estivo-autunnali sono seminate o trapiantate a file distanti 40-50 cm e densità finale di 8-10 piante/m². Le produzioni tardive a ciclo lungo sono trapiantate a file larghe 60-80 cm per favorire la rincalzatura e ottenere la densità di 6-7 piante/m².

Successivamente sono eseguite sarchiature meccaniche durante le prime fasi del ciclo, prima che le foglie chiudano l'interfila, per controllare le infestanti e per garantire l'arieggiamento del terreno, e rincalzature, per eseguire l'irrigazione per infiltrazione laterale da solchi e per proteggere i grumoli dalle gelate. L'irrigazione è fondamentale per garantire la qualità dei grumoli (ridurre soprattutto le spaccature e garantire la croccantezza delle guaine) e per ridurre le condizioni predisponenti la salita a seme. L'irrigazione si esegue per asperzione a bassa intensità di pioggia.

La raccolta è eseguita prevalentemente a mano. Il confezionamento in contenitori, per un peso unitario di 1-8 kg, viene realizzato in campo, compresa la selezione e la mondatura con rimozione delle guaine esterne e di buona parte delle foglie, senza che il prodotto transiti nei centri di lavorazione. La produzione minima, che passa per i centri di lavorazione, viene etichettata con marchi commerciali, apposti con film plastici di copertura.

Il prodotto della zona del Fucino è destinato al mercato fresco; è commercializzato attraverso la vendita in campo fino alla vendita diretta alla GDO.

Nutrizione e concimazione azotata

Durante la fase di preparazione del terreno viene effettuata una concimazione di fondo con concimi complessi ternari con titoli più elevati in K e P che in N. Più spesso la concimazione di fondo è organica con la distribuzione di pollina fresca (20 m³/ha) effettuata ogni due anni. La concimazione si completa in copertura con apporti di concimi azotati sino al raggiungimento di valori complessivi di 130 kg/ha di N in conformità alle norme tecniche di

concimazione della Regione Abruzzo. In realtà, le norme tecniche di concimazione azotata della Regione non sono state aggiornate e formalizzate nei disciplinari di produzione integrata (DPI), che riguardano solo la difesa. Tali norme tecniche di concimazione prevedono 100 kg/ha sia di P_2O_5 sia di K_2O , in larga massima rispettate. La somministrazione di P e K è perlopiù superflua, data la ricca dotazione del terreno e gli apporti effettuati con la concimazione organica. Anche la concimazione azotata di copertura non dovrebbe essere effettuata, poiché i terreni, già sufficientemente dotati di N, sono ulteriormente arricchiti con gli apporti di concimi organici.

Box 5.1. Risultati della sperimentazione di AZORT sul finocchio nel Fucino

- Le produzioni commerciabili sono state di circa 50 t/ha, con un harvest index del 50%.
- Il contenuto di sostanza secca delle lamine fogliari è risultato pari a 8-9%, quello dei grumoli intorno al 4-5%
- La produzione non è stata modificata dalla somministrazione di N, risultando i terreni già molto dotati di sostanza organica (2,5%) e di N minerale (10 ± 200 mg/kg)
- Il contenuto di nitrati nei grumoli (la porzione edule bianca) ha oscillato tra 200 e 440 mg/kg p.f., mentre nelle lamine fogliari (le lacinie filiformi verdi che costituiscono l'apparato fotosintetizzante) l'accumulo di nitrato è variato tra 3.700 e 4.850 mg/kg p.f., senza differenze tra i trattamenti. Quindi, la concentrazione di nitrati misurata nelle porzioni eduli non desta preoccupazione dal punto di vista sanitario.



Piantina di finocchio trapiantata e panoramica dei campi sperimentali di AZORT nel Fucino.

In due prove di concimazione effettuate dall'Università di Bari su coltivazioni di finocchio nelle stagioni 2007 e 2010 (Box 5.1), la somministrazione di N alle dosi di 80, 140, 200 e 260 kg/ha (la dose più elevata non inclusa nel confronto del 2010) non ha modificato la

produzione (in media pari a 50 t/ha) rispetto al non concimato. In realtà la concentrazione di N minerale (N_{MIN}) nel terreno è risultata molto elevata, raramente al di sotto di 15 mg/kg durante tutto il ciclo (corrispondenti a circa 50 kg/ha per uno spessore di 30 cm di un terreno di medio impasto), con valori di 35 mg/kg nelle parcelle non concimate nella seconda fase del ciclo colturale. Inoltre, nello strato più profondo del terreno (30-60 cm) è stata rilevata una concentrazione elevata di N_{MIN} proveniente dalla lisciviazione dallo strato superficiale sia dell'N somministrato in copertura nelle parcelle concimate sia di quello proveniente dalla mineralizzazione dei composti organici del terreno, favorita dalle elevate temperature estive.

Protocolli per la concimazione azotata

Si riportano alcune indicazioni guida per la fertilizzazione azotata del finocchio coltivato sull'altopiano del Fucino sulla base dei risultati delle sperimentazioni condotte in Abruzzo nell'ambito del progetto AZORT e delle pratiche adottate dalle aziende che operano nell'areale considerato. La dose di N da distribuire deriva dal bilancio semplificato:

$$\text{Dose di N} = (N \text{ prelevato} - N \text{ disponibile}) / \text{Efficienza di concimazione}$$

dove l'*N prelevato* è la quantità unitaria di N asportato moltiplicato per la produzione attesa; l'*N disponibile* è l'apporto dalla mineralizzazione della sostanza organica del terreno e dei residui colturali della coltura precedente più l'apporto dall'acqua di irrigazione; l'*efficienza di concimazione* è il rapporto tra la quantità di N asportata dalla coltura e la quantità somministrata con il concime ed è determinata dall'andamento climatico, dal tipo di terreno, dal regime irriguo, dal tipo di fertilizzante e dalla modalità di concimazione. È fondamentale considerare nel calcolo la dotazione naturale di N e sostanza organica del suolo, particolarmente elevata, oltre che gli apporti di sostanza organica derivanti dalla fertilizzazione organica eseguita regolarmente ogni due anni.

All'avvio della coltura è preferibile eseguire l'analisi del terreno, anche con metodi rapidi (v. Cap. 4), allo scopo di verificare la dotazione azotata effettiva in termini di N minerale. La disponibilità iniziale può essere già sufficiente per la copertura dei fabbisogni della coltura all'impianto. Una eventuale somministrazione in copertura deve essere eseguita a partire dal momento di ingrossamento dei grumoli fino ad un mese prima della raccolta, per evitare l'eccessivo accumulo di nitrati nella porzione edule e la perdita di N per lisciviazione nel periodo delle precipitazioni autunnali. La determinazione dell'N minerale del terreno eseguita anche a fine ciclo e a diverse profondità può essere utile per verificare la lisciviazione di NO_3^- in profondità e l'N residuo nello strato di coltivazione.

5.3. FINOCCHIO IN SICILIA⁹

In Sicilia le province maggiormente interessate dalla coltivazione di finocchio sono: Siracusa (620 ha), Caltanissetta (420 ha), Ragusa (300 ha) e Messina (200 ha). Il prodotto

⁹ A. Moncada, A. Miceli, F. Vetrano, G. Camerata Scovazzo e F. D'Anna

ottenuto viene commercializzato principalmente nei mercati locali regionali, soprattutto a Palermo e a Catania, e in minima parte è destinato ai mercati del centro-nord Italia.

Le cultivar a ciclo precoce (85-90 giorni) con grumolo di medie dimensioni sono adatte al ciclo primaverile-estivo, con trapianti che vanno da marzo a giugno. Le cultivar a ciclo medio (120-160 giorni), con grumolo medio-grande sono invece idonee al ciclo autunno-vernino, con trapianti in autunno e raccolte a fine inverno-inizio primavera. Grazie alle favorevoli condizioni climatiche, le cultivar a ciclo tardivo (130-200 giorni) con grumolo molto grande sono quelle più diffusamente coltivate in Sicilia; queste vengono trapiantate in agosto-settembre per produzioni autunno-vernine. Le temperature moderatamente basse consentono a queste cultivar di subire solo occasionalmente danni da freddo e di ottenere grumoli di ottima qualità, grossi, con guaine ben serrate e croccanti. Si tratta di cultivar che richiedono qualche intervento irriguo successivo al trapianto e per le quali gli apporti idrici naturali nel periodo di coltivazione sono normalmente sufficienti. Queste non necessitano di una raccolta repentina, i grumoli a maturazione fisiologica possono infatti rimanere nel terreno anche per parecchio tempo, senza subire significativi peggioramenti qualitativi, fatta eccezione per lievi deformazioni conseguenti all'ingrossamento dei germogli ascellari. L'utilizzazione delle cultivar a ciclo lungo consente dunque agli agricoltori di poter immettere gradualmente il prodotto sul mercato, condizione che limita la caduta di prezzo. La coltura a ciclo primaverile, anche con cultivar idonee come "Trevi" e "Riace", risulta più rischiosa per le elevate temperature e le ridotte disponibilità idriche nel terreno, che spesso si verificano a fine inverno-inizio primavera e che determinano la formazione di grumoli di ridotta pezzatura, qualitativamente meno pregiati, con guaine poco serrate che tendono a divenire spugnose, soprattutto le esterne. In queste condizioni diventa imprescindibile il ricorso all'irrigazione, con aggravio dei costi, e improrogabile la raccolta.

In commercio sono disponibili popolazioni locali, varietà (ottenute per selezione genealogica) e ibridi F₁. Le popolazioni locali sono frutto di libera impollinazione e di selezione massale e presentano solitamente una bassa uniformità morfo-biologica che causa consistenti quote di scarto (anche 40-50% del prodotto raccolto). Al contrario, le varietà in commercio presentano una buona uniformità morfo-biologica e apprezzabili caratteristiche quanti-qualitative. Gli ibridi F₁ sono caratterizzati da una maggiore potenzialità produttiva sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, una migliore uniformità morfo-biologica e un'elevata contemporaneità di maturazione ma, ovviamente, presentano dei costi più elevati.

Il finocchio è una coltura intercalare e viene generalmente avvicendato con altre colture orticole (pisello, fava, patata, insalate) o tra una coltura depauperante e una da rinnovo primaverile. Non deve succedere a se stesso o ad altre ombrellifere (carota, sedano) e non deve ritornare sullo stesso terreno prima di 2-3 anni.

Attualmente, nella quasi totalità dei casi in Sicilia si ricorre al trapianto, preferito alla semina per diversi motivi: aumenta la percentuale di attecchimento e l'uniformità delle piante in campo, evita il diradamento e l'operazione di prima rincalzatura, posticipa l'epoca d'impianto con conseguente risparmio idrico, permette il ricorso a ibridi F₁. Si adotta una densità da 8 a 10 piante/m rispettivamente per cultivar precoci e tardive. Normalmente, la

bibliografia suggerisce di effettuare una prima rincalzatura post-semina quando le piante hanno raggiunto un'altezza di 20 cm circa, e una seconda rincalzatura all'inizio della formazione del grumolo, principalmente per evitarne l'inverdimento ma anche per favorire la produzione di guaine croccanti e tenere e per proteggerle dal freddo (Tesi, 2010). Questa ultima operazione non sempre viene praticata, se non negli orti familiari: in passato la rincalzatura sul grumolo per l'imbiancamento era favorita dalla preventiva assolcatura del terreno, necessaria anche all'irrigazione per infiltrazione laterale; si tratta di operazioni colturali che oggi, con l'introduzione dei sistemi a microportata, vengono generalmente omesse. Inoltre, le cultivar odierne permettono l'ottenimento di grumoli bianco-nivei senza ulteriori interventi.

Per ottenere una crescita regolare e guaine tenere e quindi elevate produzioni di buona qualità, il finocchio deve essere mantenuto in uno stato di turgore per tutto il ciclo vegetativo. Pertanto, è necessario intervenire fin dall'impianto con irrigazioni leggere, dai modesti volumi irrigui ($250 \text{ m}^3/\text{ha}$) e frequenti (ogni 3-4 giorni in primavera-estate ed ogni 7-10 giorni in autunno-inverno in funzione della piovosità). Temperature elevate e stress idrici determinano l'interruzione della dominanza apicale della gemma centrale con sviluppo delle gemme ascellari delle foglie basali più esterne presenti allo stato embrionale. Queste ultime iniziano a 'bulbificare' causando l'allargamento delle guaine e la deformazione del grumolo principale.

Riguardo alla qualità delle acque irrigue, il finocchio è moderatamente sensibile alla salinità: fino a una conducibilità elettrica intorno ad $1,5 \text{ mS/cm}$ la produzione non risente di effetti negativi, mentre all'aumento progressivo dei livelli di salinità corrisponde una progressiva riduzione della produzione con effetti negativi sul peso medio dei grumoli, sulla forma e sul contenuto percentuale di sostanza secca (i tessuti diventano più fibrosi).

Nutrizione e concimazione azotata

Il finocchio assorbe notevoli quantitativi di N e K ma la restituzione di quanto asportato è piuttosto elevata: si stima, infatti, che con una corretta gestione agronomica che prevede il recupero degli scarti di produzione, il 60% di biomassa prodotta (rappresentata principalmente dall'apparato fogliare) rimane in campo (Tesi, 2010). Per una produzione media di 45 t/ha , il fabbisogno di elementi nutritivi asportati si aggira intorno ai 320, 105 e 430 kg/ha di N, P_2O_5 e K_2O , rispettivamente.

Per quanto riguarda la nutrizione minerale, il finocchio è piuttosto sensibile alle concimazioni azotate e può accumulare nitrati nelle parti eduli. L'accumulo di nitrati è più elevato in condizioni di basse temperature e di modesta durata della luminosità giornaliera. Proprio per ciò che riguarda la nutrizione azota, la bibliografia presenta risultati contrastanti sia per la produzione che per i parametri qualitativi. Una sufficiente alimentazione azotata aumenta il tasso di fotosintesi e il metabolismo di base e permette alla pianta di crescere rapidamente e di sviluppare un'abbondante biomassa che si traduce generalmente in un aumento della produzione (Baricevic e Zupanice, 2002; Sifola e Barbieri, 2006). Al contrario, Buntain e Chung (1994) e Atta-Aly (2001) sostengono che l'applicazione di concimi azotati non ha effetti rilevanti. Produzione e qualità del finocchio possono variare con l'apporto di

diverse dosi di N e in funzione delle accessioni in esame. Ehsanipour *et al.* (2012) suggeriscono che la risposta del finocchio a dosi variabili di N dipende anche dalle tecniche di coltivazione e di irrigazione. L'irrigazione della coltura con sistemi a microportata ha modificato l'agrotecnica applicata al finocchio e ha favorito l'introduzione della fertirrigazione.

Per coltivazioni su modeste superfici si ricorre ancora oggi alla concimazione tradizionale che prevede l'apporto in pre-impianto del 30-40% del fabbisogno azotato, preferibilmente con un concime ternario. A partire dalla rincalzatura si distribuisce la rimanente quota di N frazionata in 3 interventi (100-150 kg/ha di N) impiegando solitamente nitrato ammonico. L'introduzione di formulati innovativi con N organico a lento rilascio, consente di anticipare i tre macroelementi direttamente in pre-impianto.

L'evoluzione dei sistemi di distribuzione idrica ha determinato l'affermarsi della fertirrigazione anche settimanale impiegando concimi idrosolubili completi, alla dose di 1 g/L. La distribuzione dei concimi idrosolubili in fertirrigazione viene effettuata per due motivi, principalmente: mantenere costanti i livelli di fertilità azotata nel terreno avendo cura di evitare eccessi e/o carenze; automatizzare le operazioni colturali con risparmio di manodopera. In realtà, le somministrazioni azotate sono generalmente ben al di sopra rispetto alle esigenze nutrizionali della coltura; gli agricoltori, molto spesso, non hanno sistemi di riferimento e fertilizzano secondo la propria esperienza, senza tener conto che per evitare aumenti del contenuto di nitrati nella parte edule e per ridurre le perdite di N per lisciviazione occorre razionalizzazione quantità e interventi.

Protocolli per la concimazione azotata

Nell'ambito del Progetto AZORT sono state condotte delle prove finalizzate allo studio degli effetti della dose di N e delle modalità di distribuzione (fertirrigazione rispetto alla concimazione tradizionale) e della valutazione di formulati innovativi (formulati a lento effetto e formulati con N in forma organica a lento rilascio).

Allo scopo di definire la dose ottimale di N per tre diverse cultivar (Trevi, Aurelio e Riace), coltivate in inverno-primavera, sono state utilizzate 4 dosi di N frazionate in copertura: 100, 200, 300 e 400 kg/ha, somministrati con concimazione fosfo-potassica in pre-impianto alle dosi di 100 kg/ha di P_2O_5 e 200 kg/ha di K_2O (si tiene conto dell'elevata disponibilità di K scambiabile presente nei terreni interessati alla coltivazione del finocchio) e senza alcuna concimazione fosfo-potassica. Il comportamento produttivo delle cultivar non si è differenziato in funzione delle dosi di N. All'aumentare della dose di N, in presenza di concimazione fosfo-potassica, la produzione è aumentata fino ad una media di 61 t/ha, rilevata apportando 300 e 400 kg/ha di N. La produzione di scarto è stata maggiore nelle parcelle concimate con tutti e tre i macroelementi; modesta è stata la produzione di grumoli non commerciabili nelle tesi che hanno previsto la concimazione fosfo-potassica con dosi di N da zero a 200 t/ha (in media 2%). Il contenuto di nitrati rilevato è diminuito al diminuire della dose di N con valori analoghi sia con sia senza concimazione fosfo-potassica, fatta eccezione per i grumoli raccolti nelle parcelle senza alcun apporto di macroelementi dove i

valori erano così modesti da non renderne possibile la rilevazione. Il contenuto di nitrati è variato da valori massimi di 658 mg/kg p.f. a valori inferiori a 150 mg/kg p.f., rispettivamente con 400 e 100 kg/ha di N. I valori di sostanza secca sono stati pressoché analoghi con tutte le dosi azotate considerate.

In autunno-inverno, sulla cultivar Pontino, sono state valutate diverse modalità di concimazione, apportando 350, 100 e 208 kg/ha di N, P_2O_5 e K_2O , rispettivamente:

- 1) controllo senza alcun apporto di elementi nutritivi;
- 2) anticipo degli elementi nutritivi in pre-impianto;
- 3) somministrazione degli elementi nutritivi in copertura;
- 4) anticipo di P_2O_5 e K_2O e del 30% di N in pre-impianto e successivo apporto della restante quota di N in fertirrigazione;
- 5) anticipo di P_2O_5 e K_2O in pre-impianto e N in copertura;
- 6) fertirrigazione (con termine 10 giorni prima della raccolta);
- 7) fertirrigazione (con termine 20 giorni prima della raccolta);
- 8) fertirrigazione (con termine 30 giorni prima della raccolta);
- 9) somministrazione in pre-impianto di P_2O_5 e K_2O e di N in forma organica utilizzando un concime a lento rilascio con l'11% di N;
- 10) somministrazione in pre-impianto di P_2O_5 , di K_2O e di N con formulati a lento effetto.

La produzione di massa verde è stata modesta nel controllo mentre una maggiore quantità di foglie è stata prodotta nelle parcelle fertirrigate. Le produzioni più elevate di grumoli commerciabili (mediamente 47 t/ha) sono state ottenute nelle tesi fertirrigate, le più modeste (mediamente 36 t/ha) nel controllo. Quando è stato anticipato l'apporto degli elementi nutritivi in preimpianto e con somministrazioni di N in forma organica, utilizzando un concime a lento rilascio con l'11% di N, sono state osservate le più modeste produzioni di scarto (in media 5%), mentre nelle tesi fertirrigate è stato rilevato fino al 20% di prodotto di scarto. I valori più modesti di NO_3^- nei grumoli sono stati riscontrati, come prevedibile, sul controllo, i più elevati nelle tesi che hanno previsto la somministrazione di solo N in copertura e l'uso di formulati a lento effetto. La modalità di somministrazione degli elementi nutritivi ha avuto una certa influenza sul contenuto di sostanza secca: i grumoli più teneri (valori inferiori al 6% p.f.) sono stati ottenuti frazionando il solo N in copertura e fertirrigando con i concimi ternari per l'intero ciclo colturale.

Per i cicli invernali-primaverili con le cv. Trevi, Aurelio e Riace, sono state utilizzate 4 dosi di azoto: 400 kg/ha, 300 kg/ha, 200 kg/ha e 100 kg/ha, somministrati con concimazione fosfopotassica (con l'apporto di 100 kg/ha di P_2O_5 e di 200 kg/ha di K_2O) e senza alcuna concimazione fosfopotassica. Con dosi variabili di azoto e preventiva concimazione PK, la produzione è aumentata all'aumentare della dose di N fino ad una media di 61 t/ha rilevata apportando 300 e 400 kg/ha di N mentre con dose zero le produzioni sono scese a 19.6 t/ha. Lo scarto è stato maggiore nelle parcelle concimate con tutti e tre i macroelementi; modesta è stata la produzione di grumoli non commerciabili nelle tesi che hanno previsto la concimazione fosfo-potassica con dosi di azoto da zero a 200 t/ha (in media 2%).

Il contenuto di nitrati rilevato è diminuito al diminuire della dose di N con valori

analoghi sia con che senza concimazione fosfo-potassica, fatta eccezione per i grumoli raccolti nelle parcelle senza alcun apporto di macroelementi dove i valori erano così modesti da non renderne possibile la rilevazione, mentre i valori di sostanza secca sono stati pressoché analoghi con tutte le dosi azotate considerate.

In definitiva, per la coltivazione del finocchio in ambiente mediterraneo su terreni di media fertilità, le cultivar primaverili forniscono i migliori risultati produttivi con dosi di N compresi tra 300-400 kg/ha. Per la coltivazione delle cultivar autunno-vernine, la concimazione mediante fertirrigazione (350 kg/ha di N) consente di massimizzare le produzioni ottenendo grumoli più teneri. Il contenuto in nitrati nei grumoli, per effetto dei diversi livelli di concimazione azotata praticati sulle cultivar primaverili e per effetto delle differenti modalità di somministrazione effettuate per la cultivar autunnale, si sono mantenuti al disotto di 700 mg/kg p.f.

BIBLIOGRAFIA

- Atta-Aly, M.A., 2001. Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source of nitrogen fertilizers. *Sci. Hortic.*, 88, 191-202.
- Baricevic, D., Zupanice, A., 2002. The impact of drought stress and/or nitrogen fertilization in some medicinal plants. *J. Herbs Spices Med. Plants*, 9, 53-61.
- Buntain, M., Chung, B., 1994. Effects of irrigation and nitrogen on the yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Australian J. Exp. Agric.*, 34, 845-849.
- Chatzopoulou, P., Koutsos, T.V., Katsiotis, S.T., 2006. Study of nitrogen fertilization rate of fennel cultivars for essential oil yield and composition. *J. Vegetable Sci.*, 12, 85-93.
- Corrè, W.J., Breimer, T., 1979. Nitrate and nitrite in vegetables. Pudoc, Wageningen.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, J., Zeinali, H., 2012. Effect of nitrogen rates on yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Ind. Crops Prod.* 35, 121-125.
- Hussein, M.S., Abou-El-Magd, M.M., 1993. Effect of nitrogenous fertilization on the growth, vegetative yield, seed yield and oil content of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var Dulce). *African J. Agric. Sci.*, 18, 133-135.
- Kandil, M., Salah, A., Omer, E.S.E., El-Gala, Sator, M.C., Schung, E., 2002. Fruit and essential oil yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) grown with fertilizer sources for organic farming in Egypt. *Landbauforschung Volkenrode*, 52, 135-139.
- Mohamed, M., Abdu, M., 2004. Growth and oil production of fennel: effect of irrigation and organic fertilization. *Biol. Agric. Hortic.*, 22, 31-39.
- Morra, L., Pizzolongo, G., Bilotto, M., 2009. Impiego di concimi azotati a lento rilascio in orticoltura da pieno campo. http://www.agricoltura.regione.campania.it/erbacee/pdf/scheda_prova_concimi_lento_rilascio.pdf.
- Patel, B.S., Patel, K.P., Patel, M.M., 2003. Influence of organic manures alone or in combination with inorganic fertilizer on productivity of winter drilled fennel (*Foeniculum vulgare*). *Ind. J. Agron.*, 48, 232-234.
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., Todaro, E., 1999a. A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 79, 1882-1888.

- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., Gonnella, M., Parente, A., 1999b. Comparison between nitrate and ammonium nutrition in fennel, celery, and swiss chard. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 1091-1106.
- Santamaria, P., Gonnella, M., Valenzano, V., 2002. Livelli di nitrato e commercializzazione degli ortaggi. *Colture Protette*, 31 (Supplemento al n. 12), 7-13.
- Sifola, M.I., Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different level of nitrogen in the field. *Sci. Hortic.* 108, 408-413.
- Tesi, R., 2010. *Orticoltura mediterranea sostenibile*. Pàtron Editore, Padova.

Capitolo 6 – LATTUGA

*Pietro Santamaria, Maria Gonnella, Francesco Di Gioia, Vanni Tisselli, Cherubino Leonardi
Alessandra Moncada, Alessandro Miceli, Filippo Vetrano, Giulia Camerata Scovazzo e
Fabio D'Anna*

6.1. INTRODUZIONE¹⁰

La lattuga (*Lactuca sativa* L.) appartiene alla famiglia delle *Asteraceae* ed è originaria del Medio Oriente. In Italia, è coltivata in pien'aria - in Puglia (4.840 ha), Sicilia (2.180 ha), Campania (1.810 ha), Emilia-Romagna (1.520 ha), Lazio (1.320 ha) e Veneto (860 ha) - nonché in coltura protetta - prevalentemente in Campania (1.570 ha), Lazio (1.250 ha) e Veneto (614 ha) (Istat, 2010). L'ampia gamma di tipi di lattuga coltivati e la diffusione della coltivazione su gran parte del territorio nazionale garantisce la presenza del prodotto sul mercato durante tutto l'anno.

Caratteristiche botaniche ed agronomiche

La lattuga fa parte dell'ampio gruppo delle insalate, che comprende numerose specie di ortaggi a foglia, suddivise, a loro volta, in differenti tipologie e cultivar; la lattuga rappresenta la specie prevalente sia per diffusione ed apprezzamento presso i consumatori, sia per varietà di tipologie esistenti. Le lattughe sono apprezzate per il sapore dolce e la croccantezza. Sono particolarmente ricche di acqua (fino al 95% in peso) e povere di macronutrienti, per cui apportano poche calorie; contengono proteine ad alto valore biologico. Interessante l'apporto di micronutrienti: vitamine, sali minerali, fibra e molecole bioattive, in particolare i folati, tra le vitamine del gruppo B, il cui contenuto arriva anche a 100-140 µg/100 g di prodotto fresco (p.f.) e riesce a contribuire in maniera rilevante al fabbisogno giornaliero (variabile a seconda dei gruppi di consumatori, fino ad un massimo di 200 µg/giorno).

Tra gli ortaggi, la specie presenta forse la più ampia varietà di tipologie di prodotto, offerta dalle numerose varietà botaniche, oltre alle numerose tipologie sviluppate dal miglioramento genetico all'interno delle stesse varietà botaniche. Secondo quanto stabilito dalla Legge 336/37 del 13/12/2008 (precedente Reg n. 1543/2001 del 27/7/2001) le tipologie di lattuga si distinguono come riportato di seguito:

1. *Lactuca sativa* L. var. *capitata* - lattughe cappuccio (*butterhead* o *trocadero*, *iceberg*, *canasta*)
2. *Lactuca sativa* L. var. *crispa* - lattughe da taglio
3. *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam. - lattuge romane

Nelle varietà *crispa* sono state recentemente incluse tutte le nuove tipologie di lattuga

¹⁰ P. Santamaria, M. Gonnella e F. Di Gioia

che non formano cespo compatto a foglie involucrianti. La varietà botanica include quindi quelle precedentemente raggruppate nella varietà botanica *acephala*, lollo rosso e biondo, foglia di quercia, lattughino da taglio e le più recenti *multileaf*.

La lattuga è una specie erbacea annuale, con radice fittonante molto ramificata e non molto profonda (interessa i 30 cm superficiali del terreno). Il fusto, corto e carnoso, porta diverse foglie, che a seconda del numero, forma, colore e dimensione, caratterizzano le tipologie differenti. Nelle fasi iniziali le foglie sono disposte a rosetta, successivamente si dispongono in modo embricato avvolgendo completamente le foglie sottostanti a formare un grumolo, detto anche cappuccio, oppure si mantengono aperte ed espanse.

È una specie microterma, cioè si accresce a temperature relativamente basse, comprese tra 5 e 10°C, e con temperature di 0-2°C non subisce danni da freddo, ma solo una riduzione della velocità di crescita. Temperature medie inferiori a 13°C rallentano il ritmo di crescita e la formazione del grumolo, mentre quelle troppo alte (maggiori di 27°C) stimolano l'allungamento del fusto (che inizia la salita a seme) e l'alterazione del sapore delle foglie che diventa amaro per la formazione di lattice. Sulla formazione del grumolo influiscono, oltre che la temperatura (notturna e diurna), anche la radiazione solare (la bassa intensità luminosa altera la formazione del grumolo) ed il fotoperiodo.

Come altre specie da insalata, la lattuga è commercializzata come prodotto di I gamma, previa leggera mondatura, eseguita direttamente in campo o in magazzino, se destinata al mercato fresco, ed utilizzata cruda. Le tecniche di conservazione (refrigerazione e confezionamento in atmosfera protettiva), sviluppate nell'ultimo decennio per gli ortaggi da foglia, hanno consentito un notevole incremento del consumo di lattughe (in genere di insalate) di IV gamma, lavate, mondate e imbustate, pronte per l'uso. In misura minore, le lattughe sono consumate cotte in numerose preparazioni gastronomiche.

Per il mercato di I gamma sono privilegiate le cultivar a cespo, del tipo *capitata* o *longifolia*, con un grumolo compatto in cui la presenza di foglie esterne, più verdi e resistenti all'appassimento e alle manipolazioni, contribuisce al mantenimento del turgore e della croccantezza della parte centrale del grumolo. Al mercato della IV gamma sono destinate, oltre alle *capitata* o *longifolia*, soprattutto le cultivar da taglio e tutte quelle, di recente costituzione, caratterizzate da elevata resa di prodotto imbustato rispetto al peso del cespo in ingresso alla lavorazione. Per la IV gamma si richiede il rispetto di un insieme di parametri che incidono sulla qualità finale del prodotto e sulla resa di lavorazione; per esempio, l'uniformità del colore e la consistenza delle foglie (determinano la scelta dei soli cuori del cespo, nel caso di lattuga romana), l'incidenza dello scarto (minimo in lattuga *iceberg* e nelle *multileaf*), l'assenza di cavità nella nervatura centrale (frequente in lattuga romana).

La coltivazione della lattuga è avviata mediante il trapianto di piantine prodotte in vivaio con contenitori alveolati, su substrato a base di torba oppure in cassette su pane di torba. La semina diretta in campo viene effettuata soltanto per le lattughe da taglio, e richiede una preparazione del terreno molto accurata. La lavorazione principale non supera 30-35 cm di profondità, perché l'apparato radicale della lattuga è molto superficiale. La densità di impianto dipende dalla tipologia di lattuga e varia da 8 a 10 piante/m²: più bassa per lattuga

cappuccio, maggiore per lattuga romana e lollo, ancora più alta per le lattughe *multileaf*.

Le asportazioni unitarie per tonnellata di biomassa fresca, per la lattuga cappuccio e romana, corrispondono a 2,0-2,3 kg di N, 0,8-1,0 kg di P_2O_5 e 4,8-5,0 kg di K_2O (Tab. 6.1). Tuttavia le lattughe da taglio o del gruppo *crispa*, che non formano cespo, e presentano minore efficienza d'uso di N, mostrano asportazioni unitarie di N maggiori, intorno a 3 kg/t. È indispensabile mantenere l'acqua e i nutrienti nei primi 30-40 cm di terreno, in cui sono presenti le radici, considerando che soprattutto nei periodi piovosi autunno-vernini la somministrazione di concimi azotati può non risultare corrispondente all'assorbimento (a causa di basse temperature) e comportare consistenti perdite di N per lisciviazione. Nell'irrigazione occorre assicurare una sufficiente umidità del terreno con somministrazioni frequenti e a basso volume per evitare di scendere sotto la soglia dell'acqua disponibile e allo stesso tempo evitare i ristagni che possono favorire l'insorgere di malattie fungine.

Tabella 6.1. Asportazioni unitarie (kg/t) di N, P_2O_5 e K_2O della lattuga coltivata in campo.

Zona geografica	N	P_2O_5	K_2O
Romagna	2,0 – 2,4	0,8 – 0,9	4,6 – 4,8
Litorale Sud-barese, Puglia	1,9 – 3,1	3,0 – 4,0	5,0 – 7,5
Sicilia	2,5 – 3,2	1,8 – 3,3	5,4 – 7,2

Nutrizione e concimazione azotata

La fertilizzazione azotata influenza positivamente la crescita e la produzione della coltura, sebbene la lattuga mostri una modesta efficienza d'uso dell'N (NUE) ed un recupero apparente di N (il rapporto tra la quantità di N assorbito dalla coltura fertilizzata, al netto di quanto assorbe la stessa coltura non concimata, e la dose di N somministrata) abbastanza contenuto (al massimo pari a 0,5) e decrescente con l'aumentare della somministrazione di N. Come conseguenza, alla raccolta resta nel terreno una quantità rilevante di N.

L'efficienza d'uso di N cambia anche tra le diverse tipologie di lattuga, risultando più bassa nelle lattughe che non formano il grumolo (foglia di quercia, lollo) rispetto a lattuga romana o cappuccio. La spiegazione del comportamento della specie nell'assorbimento di N è legata allo sviluppo dell'apparato radicale, superficiale e poco espanso, capace di esplorare un volume limitato di terreno e attivo prevalentemente nell'ultima fase del ciclo: è stato accertato sperimentalmente che ben il 70% dell'N asportato dalla coltura viene assorbito nei 20-30 giorni che precedono la raccolta.

Nonostante i fabbisogni di N relativamente bassi durante i primi stadi di crescita, in questa fase è comunque richiesta la presenza di alte concentrazioni di N nel suolo in prossimità della zona radicale per assicurare l'assorbimento di N e l'accrescimento dell'apparato radicale ottimali (Stone, 2000). Diversamente, la carenza di N, anche se temporanea, può compromettere permanentemente la produzione finale (Burns, 1990).

In idroponica le soluzioni nutritive standard contengono 100-200 mg/L di nitrato,

mentre la concentrazione critica per la lattuga è pari a 28 mg/L di NO_3^- ; 500 mg/L di NO_3^- causano tossicità da eccesso di sali (Huett e White, 1992).

Oltre al limitato assorbimento ('recupero') dell'N somministrato, la lattuga è poco efficiente nel convertire l'N assorbito in biomassa, poiché ne accumula una discreta quantità come ione nitrico nei vacuoli. Esiste un'importante correlazione positiva tra il contenuto di nitrato e la produzione di biomassa fresca, che può essere spiegata con l'effetto osmotico esercitato dal nitrato accumulato nelle foglie e che aumenta con l'aumentare della somministrazione di N. In altre parole, pur non essendo utile alla crescita della pianta e all'accumulo di biomassa secca, il nitrato causa l'incremento del contenuto di acqua nei tessuti e, quindi, l'incremento di biomassa fresca. Questo fenomeno assume un ruolo fondamentale nel caso della lattuga e di altre specie da foglia, perché contribuisce a determinarne la croccantezza. Perciò è importante l'interazione tra gestione della fertilizzazione e gestione dell'irrigazione nel sistema pianta-suolo nel caso della lattuga. Il livello di disponibilità di acqua può influenzare considerevolmente l'assorbimento e l'efficienza d'uso di N (Karam *et al.*, 2002).

La lattuga è moderatamente tollerante l'ammonio. In idroponica col 25% di ammonio nella soluzione nutritiva è stato osservato il migliore risultato in termini di biomassa radicale e fogliare e attività fotosintetica (Wang e Shen, 2011). Anche su substrato in vaso è stato osservato che l'accrescimento nei primi stadi, oltre ad essere depresso da un eccesso di fertilizzante nella forma di nitrato di calcio, risulta inferiore anche a livelli moderati, rispetto alla produzione di biomassa fresca ottenuta con solfato o nitrato ammonico (Scaife *et al.*, 1986). Ciò potrebbe essere un riflesso del beneficio che offre una piccola frazione di N ammoniacale nella nutrizione azotata della lattuga, come osservato anche sul poodoro.

La somministrazione di urea, con o senza inibitori dell'ureasi e della nitrificazione, non modifica la produzione di biomassa fresca, ma allo stesso tempo riduce il contenuto di nitrato nei cespi di lattuga, se coltivata su terreno (Montemurro *et al.*, 1998). Al contrario, in lattuga allevata in idroponica, l'urea provoca fenomeni di fitotossicità (danno radicale, crescita stentata, ridotto assorbimento di nutrienti) dovuti sia al drastico abbassamento di pH della soluzioni nutritiva sia alla tossicità diretta dell'urea e/o dell'ammonio che ne deriva.

Contestualmente alla migliore risposta produttiva, la sostituzione di una frazione di N nitrico con ammonio produce una consistente riduzione del nitrato accumulato nei vacuoli. La risposta è differente a seconda del genotipo (Wang e Shen, 2011); infatti i genotipi di lattuga mostrano differente capacità di accumulo di nitrato indipendentemente dalla somministrazione di N (Behr e Wiebe, 1992; Burns *et al.*, 2011b).

In generale, l'impiego di fertilizzanti a lento rilascio consente di modulare la disponibilità di N sul ritmo di crescita e di asportazione della coltura, aumentando l'efficienza d'uso dell'N e riducendo il nitrato accumulato nelle foglie. Un risultato di questo tipo è stato ottenuto con la somministrazione di calciocianamide a lattuga coltivata in pien'aria (Box 4.4).

L'accumulo di nitrato nella lattuga è differente a seconda dello stadio di accrescimento (Burns *et al.*, 2011b) e a seconda della posizione delle foglie nel cespo, considerando che le foglie interne, in genere, contengono meno nitrato di quelle esterne per cui la contrazione del

nitrato accumulato che si registra negli stadi intermedio e finale della formazione del grumolo è dovuto all'incremento della proporzione di foglie intermedie e interne che contengono meno nitrato di quelle esterne (Burns *et al.*, 2011a). È implicito che eliminando le foglie esterne si riduce notevolmente il contenuto di nitrato nella porzione edule del cespo.

6.2. LATTUGA IN EMILIA-ROMAGNA¹¹

In Emilia-Romagna la lattuga è coltivata su 1530 ha, di cui 1247 ha (oltre l'80%) nell'area sud-orientale, in particolare nei comuni di San Mauro Pascoli, Savignano sul Rubicone, Sant'Arcangelo, Cesena) in provincia di Forlì-Cesena e di Rimini. È una coltura importante per l'economia agricola dell'area soprattutto per le aziende di piccole dimensioni che basano sulla lattuga la maggior parte dell'attività e del reddito. La lattuga è sempre stata coltivata negli orti famigliari, ma lo sviluppo come coltura specializzata si fa risalire al secondo dopoguerra. La coltivazione è sostanzialmente stabile in termini di superficie anche se, da un anno all'altro, si riscontrano variazioni di prezzo notevoli dovute all'andamento del mercato. La coltivazione è in massima parte regolamentata dal disciplinare di produzione integrata (DPI) della Regione Emilia-Romagna, che ha razionalizzato le operazioni fondamentali al fine di ottenere un prodotto con caratteristiche qualitative e sanitarie migliori.

La tipologia maggiormente coltivata è la lattuga cappuccio, seguita dalla romana. Negli ultimi anni si segnala un'espansione delle tipologie "Gentilina" e "Foglia di quercia", mentre ridotta è la coltivazione della tipologia "Iceberg". Le varietà vengono sostituite con elevata frequenza rincorrendo le resistenze a peronospora (*Bremia lactucae*). Una sperimentazione di confronto varietale attiva da oltre 15 anni nella zona a cura del CRPV e di ASTRA U.O. Martorano 5 fornisce il necessario supporto alla scelta varietale. La raccolta è effettuata manualmente e il prodotto viene conferito in cassette ad uno strato alle strutture di lavorazione e commercializzazione. La toelettatura che consiste nell'eliminazione delle foglie esterne più vecchie o danneggiate viene effettuata direttamente in azienda. Solo raramente la raccolta è effettuata in cassette a due strati per essere poi cernita preso i magazzini di lavorazione. Il prodotto è commercializzato tal quale o solo in alcuni casi se destinato all'esportazione nei periodi di maggior caldo subisce un processo di rapido raffreddamento utilizzando il "vacuum cooler". I suoli dell'area variano da una tessitura franco-franco sabbiosa ad una argillosa; sono pianeggianti, con pendenza che varia tipicamente da 0,1 a 0,5%; e caratterizzati da una elevata profondità dello strato interessato dalle radici, con buona disponibilità di ossigeno, calcarei o non calcarei in superficie e calcarei negli orizzonti profondi. L'uso attuale dei suoli è principalmente di tipo agricolo, con prevalenza di cereali, colture foraggere e colture specializzate intensive (vigneti, frutteti, orti). Il regime termico è di tipo temperato subcontinentale. Le temperature medie annuali diminuiscono dalla fascia costiera verso l'estremo occidentale, con valori da 14°C a 12°C; le precipitazioni tendono invece ad aumentare, variando da 650 a 800 mm medi annui. Le piogge sono concentrate nel periodo autunno-primaverile, con surplus idrici pari a 100-300 mm.

¹¹ V. Tisselli



Coltura di lattuga pacciamata con film biodegradabile in Romagna.

La lattuga viene trapiantata per la quasi totalità utilizzando piantine prodotte in cubetti di torba pressata e adottando un sesto d'impianto che varia da 30 cm x 35 cm a 30 cm x 30 cm a 28 cm x 28 cm, a seconda del tipo di terreno, dell'epoca d'impianto o della meccanizzazione aziendale. Normalmente i trapianti si susseguono tutto l'anno ad eccezione di pochi mesi (novembre e gennaio) e così pure le raccolte. Gli ultimi trapianti in autunno e i primi invernali vengono realizzati all'interno di strutture protette (serre o tunnel-serra); nei trapianti primaverili è diffuso invece l'uso di copertura con teli di tessuto non-tessuto. Normalmente la lattuga è posta in rotazione con altre colture orticole: patata, finocchio, sedano o con estensive quali cereali autunno-vernini. Le aziende specializzate tendono ad effettuare due o talora tre cicli di lattuga sullo stesso terreno seminando in successione frumento o orzo.

L'irrigazione è effettuata con frequenza giornaliera e nelle prime fasi del trapianto soprattutto nei periodi più caldi è possibile avere due interventi nello stesso giorno. Vengono utilizzati impianti ad aspersione di media o bassa portata. Presso poche aziende si utilizzano pacciamature con film biodegradabile. Per quanto riguarda la difesa si segnalano problemi dovuti a peronospora (periodicamente c'è il superamento delle resistenze introdotte geneticamente), sclerotinia, afidi, miridi, e minatori fogliari. La difesa è effettuata utilizzando prodotti inseriti all'interno dei disciplinari di produzione integrata della regione Emilia-Romagna. Nel periodo estivo il deficit idrico è di circa 150-200 mm, attenuato dall'elevata umidità relativa dell'aria.

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione viene attuata seguendo in prevalenza le indicazioni dei DPI, sulla base di analisi del terreno ripetute almeno a cadenza quinquennale. Nonostante ciò vengono distribuiti quantitativi spesso superiori a quanto consigliato e utilizzati concimi ternari (spesso ad alto titolo di P) che non permettono un perfetto dosaggio dei singoli elementi. Le dosi oggi di riferimento per produzioni di considerate medie (da 26 a 38 t/ha) sono: 110 kg/ha di azoto; 50-90 kg /ha di P_2O_5 ; 80-220 kg/ha di K_2O

Il calcolo delle dosi tiene conto delle asportazioni della coltura e della produzione presunta in base ad una media poliennale. Per quanto riguarda in particolare l'N, le dosi sono definite in funzione del bilancio semplificato o più spesso sull'utilizzo di tabelle (v. esempio riportati di seguito), che stabiliscono una dose standard di N (120 kg/ha) in base ad una produzione stimata di 26-38 t/ha, dose che può essere aumentata o ridotta in funzione di alcune variabili.

Quantitativo di azoto da sottrarre (-) o aggiungere (+) alla dose standard di 120 kg/ha in funzione delle condizioni culturali

- 20 kg: se si prevedono produzioni inferiori 26 t/ha;	+ 20 kg: se si prevedono produzioni superiori a 38 t/ha;
- 20 kg: in caso di apporto di ammendante alla coltura in precessione;	+ 20 kg: in caso di scarsa dotazione di sostanza organica;
- 15 kg: in caso di elevata dotazione di sostanza organica;	+ 30 kg: in caso di successione ad un cereale con paglia interrata;
- 15 kg: in caso di successione a leguminosa annuale;	+ 15 kg: in caso di forte lisciviazione dovuta a surplus pluviometrico in specifici periodi dell'anno (es. pioggia superiore a 300 mm nel periodo ottobre-febbraio).
- 20 kg: dal terzo ciclo in poi in caso di cicli ripetuti.	+ 20 kg: in caso di forti escursioni termiche e precipitazioni anomale durante la coltivazione.

Nell'ambito del progetto AZORT, è stata condotta per il triennio 2007-2008-2010 una sperimentazione tesa a mettere in luce le esigenze di concimazione e i suoi effetti su una serie di parametri quanti-qualitativi. L'attività è stata condotta presso l'azienda sperimentale ASTRA U.O.Martorano 5 di Cesena su terreno di tessitura argilloso-limosa con un normale contenuto di sostanza organica (1,6%) e di N totale (1,48 g/kg), basso il contenuto in P assimilabile (26 mg/kg) e molto elevato quello di K assimilabile (318,5 mg/kg). Nelle prove realizzate nel periodo estivo-autunnale, con trapianti nella prima decade di settembre, sono state messe a confronto 5 tesi di concimazione azotata: 150, 110 e 70 kg/ha, oltre ad una tesi non concimata, con o senza irrigazione. L'andamento della produzione è stato lo stesso nei tre anni, con progressivo aumento in base alla disponibilità di N (Fig. 6.1). Non sono mai state trovate differenze significative tra le due tesi che prevedevano una dose di 150 e 110 kg/ha; quindi, le dosi indicate dal DPI (120 kg /ha) si possono considerare abbastanza adeguate.

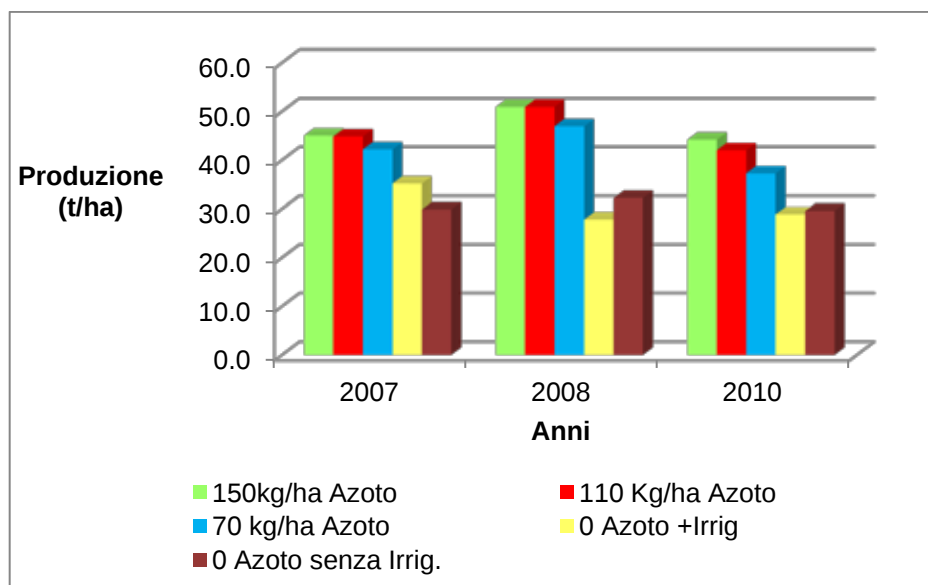


Figura 6.1. Effetto della concimazione azotata sulla produzione di lattuga in Romagna.

6.3. LATTUGA IN PUGLIA¹²

La Puglia detiene il primato in Italia per la coltivazione della lattuga in pien'aria, con 4.840 ha pari al 28,3% della superficie nazionale (Istat, 2010). Più di un terzo della superficie censita nella regione (1.700 ha) interessa la provincia di Bari, soprattutto il litorale del Sud barese (nei comuni di Conversano, Monopoli, Polignano e Mola di Bari) in cui si coltivano anche indivia e scarola. L'area di coltivazione più importante della regione, che è compresa tra il costone meridionale della Murgia ed il mare Adriatico, è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo con inverno mite ed estate calda. Le precipitazioni piovose, superiori alla media regionale, si aggirano intorno a 620 mm/anno e sono concentrate prevalentemente nel periodo compreso tra ottobre e marzo. I terreni, localizzati ad altitudini inferiori a 100 m sul livello del mare e disposti in piano o con lieve pendio, sono argilloso-sabbiosi o sabbioso-argillosi, con discreta capacità di ritenzione idrica, porosità e permeabilità che consentono un facile sgrondo delle acque in eccesso; inoltre, hanno contenuto buono in P e K e medio in N e sostanza organica, con pH sub-alcalino.

Il foggiano è la seconda area per diffusione della coltura (1.270 ha), seguita dalla provincia di Taranto (700 ha) e dalla provincia di Barletta-Andria-Trani (650 ha) che fino al 2009 era censita insieme alla provincia di Bari. La produzione del litorale barese è stata per decenni esclusiva nel panorama orticolo regionale e solo dopo la metà del 1900, con l'ampliamento delle aree irrigue, la lattuga ha iniziato a conquistare ampie superfici nel Tavoliere di Puglia.

Mentre il litorale Sud-barese è prevalentemente orticolo e concentrato sulle specie da

¹² P. Santamaria, M. Gonnella e F. Di Gioia

foglia, sul Tavoliere foggiano la coltivazione delle “insalate” è in successione al frumento o intercalare tra il frumento e il pomodoro.

La produzione pugliese si caratterizza per essere realizzata quasi esclusivamente in pieno campo nel ciclo autunno-primaverile, in cui si ottengono le migliori produzioni, dal punto di vista qualitativo, per le ottimali condizioni termiche. Tra le tipologie di lattuga, negli ultimi anni è stata ridotta la prevalenza della tradizionale lattuga a cappuccio tipologia trocadero, a vantaggio delle tipologie romana, lollo e *iceberg*, nell’areale barese, mentre nel Tavoliere, a causa delle basse temperature invernali, predominano ancora *iceberg* e trocadero insieme a indivia e scarola, più resistenti della lattuga al rigore invernale. La produzione si attesta intorno a 20 t/ha, con variazioni minime tra le aree della regione (Istat, 2010).

L’impianto della coltura avviene sempre con l’impiego di piantine con 4-5 foglie vere, prodotte in vivaio con contenitori alveolati e substrati torbosi. Per evitare i ristagni di acqua e ridurre gli attacchi di sclerotinia, il trapianto su porche è stato completamente abbandonato privilegiando la sistemazione del terreno a solchi, posando le piantine sulla cresta ed eseguendo manualmente il trapianto. Le densità sono minori per i lolli e la lattuga romana (con distanze di 25-30 cm sulla fila e tra le file) e maggiori (30-35 cm) per le cappuccine e le *iceberg*. Il numero di piante è intorno a 8-10 piante/m².

L’irrigazione è effettuata per microaspersione a bassa intensità oppure con impianti a goccia con manichetta a bassa pressione. La raccolta è eseguita a mano con la mondata dei cespi in campo, eliminando solo le foglie esterne più vecchie (indice di raccolta o harvest index pari al 98%), e la loro sistemazione in cassette di legno o di plastica a seconda della destinazione. Il prodotto è rilavorato e refrigerato negli impianti aziendali con sistemi di *hydro-cooling* e attivazione della catena del freddo, che viene mantenuta fino alla consegna. Il prodotto è destinato quasi esclusivamente al mercato fresco, soprattutto ai mercati del Nord Europa, e in minima parte alla produzione di IV gamma.



Trapianto manuale della lattuga su terreno assoltato in Puglia.

La durata del ciclo colturale è variabile a seconda dell'epoca del trapianto. I trapianti precoci da agosto ad ottobre producono cespi commerciali anche in 60 giorni. Via via che i trapianti sono spostati verso l'inverno i cicli sono più dilatati: le basse temperature di gennaio-febbraio rallentano l'accrescimento fino a inibirlo completamente se permangono sotto i 5°C, per cui la durata del ciclo si allunga a 90-120 giorni.

Il panorama varietale per i differenti tipi di lattuga si rinnova molto rapidamente sia per l'esigenza commerciale di immettere sul mercato cultivar accattivanti per colorazione, forma della foglia o particolari caratteristiche organolettiche o merceologiche sia per necessità di introdurre nuove resistenze alle principali avversità biotiche (*Bremia* sp., razze 1-28; *Nasonovia ribis-nigra*, razza 0; *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae*, razza 1; LMV, patotipo 1-2). Negli ultimi anni si sono affermate con successo nuovi tipi con particolare colorazione e consistenza della foglia (lollo, foglia di quercia, canasta) e sono state introdotte le lattughe *multileaf*, destinate alla IV gamma, sia con raccolta a cespo che a sfalcio.



L'introduzione delle nuove tipologie di lattuga (lollo, foglia di quercia), oltre a ravvivare il paesaggio, ha introdotto uno specifico abbinamento di colori e di prodotti nelle confezioni destinate ai mercati Nord-europei.

Nutrizione e concimazione azotata

Considerati gli aspetti ecofisiologici, sanitari e ambientali della fertilizzazione azotata della lattuga, è importante valutare attentamente le dosi, le forme e i tempi di distribuzione dell'N. Complessivamente essi influenzano il ritmo di accrescimento della coltura, la quantità di nitrato accumulato e il rischio di percolazione dello ione nitrico nelle falde acquifere, particolarmente elevato nell'area del litorale sud-barese dato che il ciclo colturale autunno-vernino coincide con il periodo di maggiore intensità delle precipitazioni.

La concimazione di fondo prevede la distribuzione di perfosfato minerale e solfato ammonico (o fosfato biammonico), mentre la concimazione potassica è spesso omessa per la

buona dotazione dei terreni. Le asportazioni di N, P_2O_5 e K_2O sono pari, rispettivamente, a 120, 60-80 e 100-150 kg/ha. La distribuzione dell'N è effettuata prevalentemente al trapianto in quantità pari al 50-80% del fabbisogno totale della coltura, con uno o due interventi in copertura (in genere eseguiti in fertirrigazione con lo stesso impianto di irrigazione) in relazione all'epoca di coltivazione e alla durata del ciclo colturale. È un'idea condivisa dalla maggior parte degli agricoltori che la migliore qualità dei cespi è quella che si ottiene nel più breve tempo possibile. Di conseguenza, si modulano gli apporti azotati in modo da dare un rapido avvio alla coltura se il trapianto è stato precoce; in tal caso, con un ciclo di 60 giorni, l'N può essere somministrato anche completamente al momento del trapianto. Con trapianti posticipati si riserva una frazione di N, pari al 20-30%, per la somministrazione in copertura da eseguire circa un mese della data di previsione della raccolta, in modo da dare impulso alla fase di accrescimento finale della coltura. Nel caso di trapianti tardivi, invece, la quantità di N da somministrare in copertura sale al 50%, tenendo in considerazione che, superato il periodo più freddo, le piante richiederanno un notevole 'rinforzo' per riprendere l'accrescimento.

Box 6.1. Principali risultati delle prove di AZORT sulla lattuga in Puglia

- Le produzioni sono state variabili nelle tre annate di sperimentazione, comprese tra 31 e 51 t/ha per la lattuga romana e tra 14 e 19 t/ha per la foglia di quercia.
- Il contenuto di N fogliare, piuttosto ridotto nelle piantine alla 3^a - 4^a foglia vera, è diminuito dallo stadio di 10-12 foglie alla raccolta dal 5,1 al 4,4% (rapportato al peso secco) nella lattuga foglia di quercia e dal 5,1 al 3,0% nella lattuga romana. L'N asportato è stato pari a 56,7 e 75,0 kg/ha, rispettivamente, per foglia di quercia e lattuga romana; rapportato alla produzione commerciabile, l'N asportato risulta pari a 3,1 e 1,9 kg/t, rispettivamente per foglia di quercia e lattuga romana.
- Nei tre anni di sperimentazione il contenuto massimo di nitrato (NO_3^-) nei cespi è variato da 590 a 1.040 e da 1.400 a 1.880 mg/kg p.f., rispettivamente, in lattuga romana e foglia di quercia. Il valore medio del contenuto di nitrati è stato di 800 mg/kg p.f.; tutti i valori registrati sono stati ben al di sotto dei limiti previsti dal Reg. C.E. n.1258/2011 per le lattughe.

Prove di fertilizzazione eseguite dall'Università di Bari nel territorio di Polignano a Mare (Bari) hanno mostrato che lattuga canasta, foglia di quercia e lollo producono 30-40 t/ha con la concimazione di fondo (30 kg/ha di N attraverso concime organo-minerale) accompagnata dalla somministrazione in copertura di 75 kg/ha di N (nitrato di calcio), un mese e mezzo dopo il trapianto e a più di due mesi dalla raccolta. Inoltre, la dose di 150 kg/ha di N in copertura non ha consentito alcun incremento produttivo, con un contenuto aumentato dell'accumulo di nitrato nei cespi, facendo supporre che buona parte del fertilizzante azotato sia stato allontanato dalla zona radicale attraverso la lisciviazione negli strati più profondi.

In generale, per il contenuto di nitrato, le produzioni di lattuga nell'area del litorale del Sud-barese si collocano ben al di sotto dei limiti imposti dal Regolamento della Comunità Europea n. 1258/2011 (Cap. 1), in virtù delle ottimali condizioni di luminosità degli ambienti mediterranei anche nel periodo invernale (alcuni dati sono riportati nel Box 6.1).

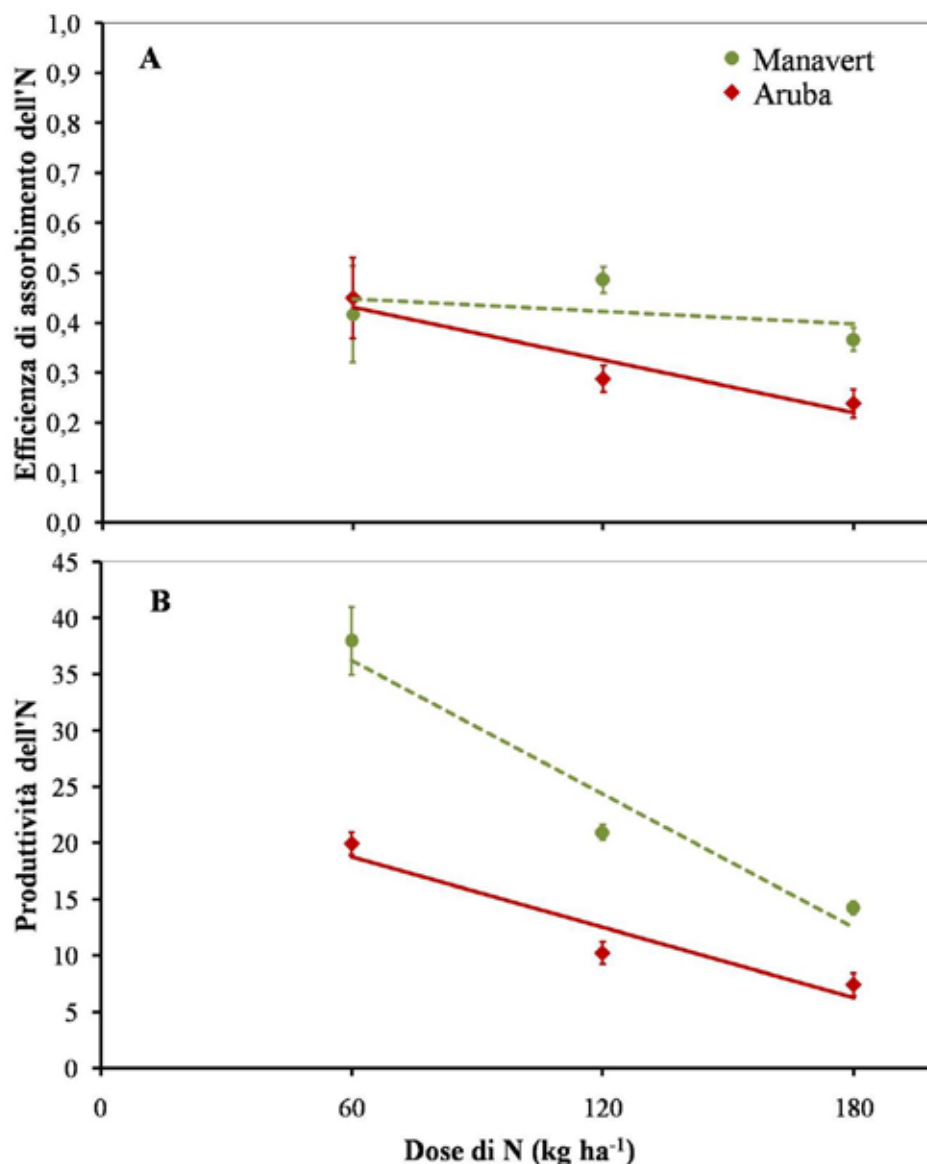


Figura 6.2. Efficienza d'uso dell'N in termini di asportazione (A) e produttività (B) dell'N (kg di biomassa secca prodotta per kg di azoto apportato) in lattuga romana (cv Manavert) e lattuga foglia di quercia (cv Aruba) in funzione della dose di azoto.

Nell'ambito del progetto AZORT, nei primi due anni di sperimentazione, la dose ottimale di N per lattuga romana e foglia di quercia è risultata pari a 120 kg/ha, corrispondente a quanto è usualmente applicato nella zona. Nel terzo anno l'applicazione della dose intermedia pari a 80 kg/ha sotto forma di urea ha fornito un risultato produttivo (37

t/ha) non statisticamente differente da quello derivante dalla dose di 120 kg/ha distribuita come solfato ammonico. La produzione della lattuga romana è stata almeno il doppio di quella della foglia di quercia. Il recupero apparente di N o efficienza di asportazione dell'N è risultato molto basso e dell'ordine di 0,4-0,5 per la lattuga romana cv Manavert ed ancora più bassa (0,2-0,3) nel caso della lattuga foglia di quercia cv Aruba (Fig. 6.2A). L'efficienza d'uso dell'N in termini di produttività della coltura non ha superato 40 e 20 kg di sostanza secca prodotta per 1 kg di N applicato, rispettivamente, per la lattuga romana e la foglia di quercia, ed è diminuita con l'aumentare della quantità di N somministrato (Fig. 6.2B). I cespi hanno presentato contenuto di sostanza secca intorno al 6%.

In Puglia sono state condotte, sempre nell'ambito del progetto AZORT, anche alcune prove sull'impiego di calciocianamide (Box. 6.2)

6.3. LATTUGA IN SICILIA¹³

Informazioni generali

La lattuga, analogamente alle altre colture ortive siciliane, trova diffusione in contesti climatici ed agronomici piuttosto diversificati. Il clima siciliano è di tipo mediterraneo e più in particolare, in funzione dell'andamento termico e pluviometrico, si fa riferimento ad un clima classificato come Xeromediterraneo. Si tratta di un areale caratterizzato da aridità estiva accentuata (periodo xerotermico 5-6 mesi) e regime termico sub-continentale (inverno mite-estate calda). Le precipitazioni comprese su valori di circa 250-750 mm/anno, risultano concentrate nel periodo invernale. L'abbondanza di acque che caratterizza alcune aree di coltivazione della lattuga rende certamente la zona particolarmente vocata in tutte le stagioni.

La destagionalizzazione delle produzioni appare comunque favorita dalla localizzazione delle coltivazioni anche in alcune zone costiere climaticamente più favorite, le quali rappresentano anche per tale motivo le aree di insediamento elettivo della coltura nell'isola. La vocazionalità di alcuni comprensori, oltre che dalla prossimità del mare, deriva talora dalla presenza di catene collinari che mitigano gli effetti dei venti freddi provenienti da Nord.

Anche dal punto di vista pedologico la coltura trova diffusione in condizioni piuttosto diversificate. Con specifico riferimento al siracusano, che rappresenta certamente la provincia maggiormente interessata alla lattuga, la coltivazione avviene in terreni appartenenti al gruppo dei suoli bruno-calcarei ed al gruppo dei suoli alluvionali presenti lungo i depositi dei corsi d'acqua. In tali contesti i terreni sono dotati di ottima fertilità, sono più o meno profondi e ben dotati di elementi nutritivi e di sostanza organica.

Il contributo della Sicilia alle superfici nazionali destinate a lattuga è di poco superiore a 10%, le relative produzioni rappresentano circa il 9% di quelle nazionali (ISTAT, 2010-2011). In ambito regionale la superficie è destinata per lo più alla coltivazione in pien'aria essendo le colture protette rappresentate da circa l'1% della superficie totale, pari a circa 2000 ha.

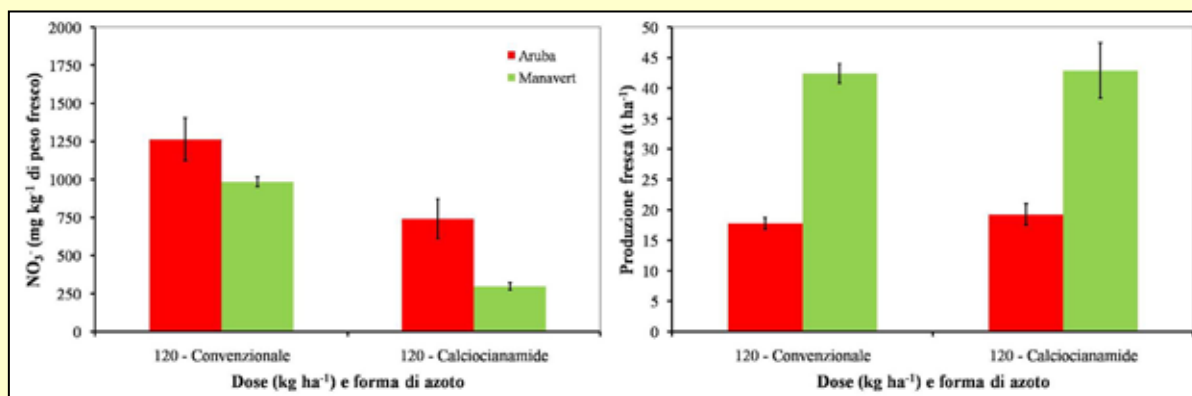
¹³ C. Leonardi, A. Moncada, A. Miceli, F. Vetrano, G. Camerata Scovazzo e F. D'Anna

Box 6.2. La calciocianammide

La calciocianammide (CaCN_2) è uno dei primi fertilizzanti azotati di sintesi utilizzati in agricoltura. Oltre che per l'apporto di N (20-21%), la calciocianammide è utilizzata come defogliante, erbicida e disinfestante nei confronti di insetti e patogeni del suolo.

Nel terreno la calciocianammide è idrolizzata in urea e idrossido di calcio; tuttavia il processo di idrolisi è piuttosto complesso e comporta la formazione di diversi composti intermedi di cianamide fitotossici per semi e piante. Perciò, la calciocianammide deve essere applicata necessariamente in pre-impianto, circa 10-20 giorni prima della semina o del trapianto della coltura. In condizioni di elevata umidità del terreno, i composti tossici sono degradati nel giro di due o tre settimane, a seconda della quantità di fertilizzante applicato. Successivamente, mediante l'ureasi, l'urea è degradata in N ammoniacale ed anidride carbonica. Contemporaneamente, alcuni dei composti intermedi di cianamide possono polimerizzare formando molecole di diciandiamide (DCD), un potente inibitore della nitrificazione, in grado di rallentare l'ossidazione dell'ammonio in N nitrico. La prolungata permanenza nel suolo di N ammoniacale, piuttosto che di N nitrico, oltre a limitare i rischi di perdite di N per lisciviazione e denitrificazione, consente una più efficiente assimilazione di N da parte delle piante e può prevenire l'accumulo di nitrati soprattutto negli ortaggi da foglia.

Esperimenti di campo condotti in Puglia nell'ambito del progetto AZORT, su lattuga romana e foglia di quercia, confrontando la tecnica ordinaria di fertilizzazione - che prevede l'applicazione di 120 kg/ha di N (50% di solfato ammonico, in pre-impianto, più 50% di nitrato ammonico, in copertura) - con l'applicazione di calciocianammide (100% in pre-impianto), alla stessa dose, hanno dimostrato una buona efficacia della calciocianammide nel ridurre il contenuto di nitrati in entrambe le tipologie di lattuga, garantendo una produzione pari a quella raggiunta con la tecnica convenzionale.



Contenuto di nitrati e produzione di lattuga romana (cv Manavert) e foglia di quercia (cv Aruba) fertilizzate con 120 kg/ha di N secondo la tecnica convenzionale o con calciocianammide.

Per la lenta degradazione che subisce nel suolo, la calciocianammide può essere considerata un concime azotato a lento effetto o ad efficienza d'uso migliorata. L'utilizzo di calciocianammide, tuttavia, richiede una particolare attenzione, sia per la tossicità delle polveri per gli operatori in fase di applicazione in campo, sia per la formazione nel suolo di prodotti di degradazione fitotossici che richiedono il rispetto di un periodo di vuoto del terreno.

Per quanto riguarda la distribuzione nel territorio regionale la superficie più rilevante destinata a lattuga si ritrova principalmente nelle Province di Siracusa (948 ha), Agrigento (467 ha), Caltanissetta (342 ha) cui seguono, su superfici più contenute, le provincie di Catania e Messina con circa 150 ha ciascuna; di molto inferiori le superfici presenti nel territorio delle Province di Trapani, Palermo, Enna e Ragusa. La produzione totale risulta piuttosto variabile in funzione delle zone e del tipo di coltivazione. Le rese in pien'aria, sono generalmente inferiori in Sicilia (19.7 t/ha) rispetto a quelle nazionali (22.1 t/ha). Nelle provincie con maggiore diffusione della coltura le rese oscillano tra 11 (Caltanissetta) e 28 (Siracusa) t/ha.

Le tipologie merceologiche più largamente rappresentate sono la romana e la *iceberg*. La prima ha visto una contrazione delle superfici, mentre la *iceberg* si è progressivamente affermata; attualmente le due tipologie contribuiscono in parti uguali a circa l'80% delle superfici totali. Segue la lattuga cappuccio e quindi, con qualche punto percentuale, la batavia. La lattuga romana e la batavia sono coltivate tutto l'anno, mentre per l'*iceberg* e la cappuccio vi è una flessione durante la stagione calda e la coltivazione riguarda in maggior misura il periodo autunno vernino primaverile.



Coltura di lattuga Iceberg in Sicilia.

Di seguito si riportano le principali cultivar appartenenti alle tipologie merceologiche presenti in misura significativa sul territorio regionale. Si tratta di indicazioni provenienti da rappresentativi vivai regionali.

Lattuga romana. Tra le cultivar vernino-primaverili quella predominante è la Maximus (Rijk Zwaan); su superfici più contenute trovano diffusione: Nissena (Enza Zaden), Cosmos (Nunhems) Remus (Rijk Zwaan). La situazione relativa alle estive-autunnali è un po' più

articolata e vede la presenza di numerose cultivar senza la netta prevalenza di qualcuna di esse. Sono quindi diffuse la Presidential e Integral (Syngenta); Cervantes e Filipus (Rijk Zwaan); Paspартu e Ortigia (Enza Zaden).

Lattuga *iceberg*. Tra le cultivar estive-autunnali le più diffuse vi sono: Diamantinas e Silvinas (Rijk Zwaan); Kavir e Makam (Zeta seeds); Saula (Enza Zaden); Templin (Nunhems). Relativamente a quelle vernine primaverili più della metà della superficie è occupata da: Gitanas (Rijk Zwaan); Sinai (Zeta seeds); Bejonce, Acula (Enza Zaden); l'ulteriore superficie è rappresentata da: Patagonia, Siberisas (Rijk Zwaan); Carù, (Zeta seeds); Pedrola (Enza Zaden); Vanguardia (Nunhems), Stallion (Monsanto).

Lattuga cappuccio. Nel ciclo estivo gran parte della superficie è destinata a Ballerina (Rijk Zwaan); su superfici piuttosto contenute trova diffusione la RX001 (Monsanto). Nel periodo autunnale trovano diffusione Abago e, su superfici più limitate, Hungarina (Rijk Zwaan). Nel periodo invernale si adotta Fabietto (Rijk Zwaan). Nella stagione primaverile trova diffusione su oltre metà della superficie Abago (Rijk Zwaan); superfici più contenute sono destinate a Forlina e Faustina (Rijk Zwaan);

Lattuga batavia. Nel periodo estivo viene impiegata la Lenca Laramy (Nunhems). Nelle altre stagioni prevale nettamente la Camaro (Rijk Zwaan).

La coltivazione avviene in pieno campo con trapianti realizzati tutto l'anno, ma che risultano maggiormente concentrati nel periodo compreso tra settembre e dicembre e calendario di offerta da ottobre ad aprile. La durata del ciclo va da 70-80 giorni per i trapianti di settembre a 90-100 giorni per quelli di novembre-dicembre.



Coltura di lattuga in Sicilia nelle prime fasi di crescita.

I produttori acquistano plantule pronte al trapianto e in alcuni casi forniscono direttamente il seme e lo affidano in conto lavorazione ad un vivaio specializzato che, dopo 2-3 settimane, consegna le plantule. Dopo 3-5 lavorazioni per la preparazione del terreno, in cui

si prevede anche una concimazione di fondo ricca in sostanza organica, si effettuano i trapianti. La disposizione delle piante è variabile in rapporto alle dimensioni degli appezzamenti, alle successioni colturali, alle colture principali, ecc. Nel caso della successione della lattuga con patata (provincia di Siracusa) le piante vengono disposte in prode larghe 140-145 cm, misure dettate principalmente dalle dimensioni dei mezzi meccanici utilizzati ed impiegate per la patata. La densità di impianto è di circa 60 – 70 mila piante/ha e per le varietà ad accrescimento più contenuto si arriva a 70 – 80 mila piante/ha, per cui la distanza sulla fila è di 32-40 cm.

L'acqua di irrigazione deriva da pozzi trivellati ed in generale è di qualità buona con CE di circa 0.6 mS/cm, valori che si innalzano spostandosi verso la costa a 1,5 - 3,5 mS/cm. Negli ultimi anni, le abbondanti piogge invernali durante il periodo autunno-vernino hanno permesso di limitare gli apporti idrici e hanno diminuito i rischi di salinizzazione delle falde derivante dall'emungimento dei pozzi. Considerata la densità di impianto, il sistema di irrigazione è costituito generalmente da idrodinamici soprachioma a bassa portata, anche se in piccoli appezzamenti, si impiegano sistemi ad irrigazione localizzata. In copertura la concimazione è rivolta soprattutto alla somministrazione di Ca e K.

Tra le operazioni colturali, oltre ad un diserbo selettivo in pre-impianto, nelle fasi iniziali si effettuano delle zappettature che favoriscono l'aerazione del terreno e l'accrescimento dell'apparato radicale e si procede manualmente all'eliminazione delle infestanti.

La coltivazione in serra come anticipato consente di sfruttare al meglio le potenzialità produttive della coltura, anche in virtù delle migliori condizioni climatiche e delle maggiori cure colturali di cui può beneficiare (fertirrigazione, pacciamatura, ecc.). La produzione in ambiente protetto è maggiormente concentrata nei mesi più freddi dell'anno dall'autunno all'inizio della primavera e presenta livelli qualitativi a volte superiori e pertanto trova a volte collocazione, oltre che sui mercati locali, anche, pur se in minima parte, su mercati nazionali.

Sotto il profilo merceologico, le tipologie maggiormente diffuse sono: romana, *iceberg*, anche se ormai sono state introdotte anche quelle con foglie di dimensioni baby. La disponibilità di una gamma a foglie frastagliate, multifoglie, colorate con un'elevata conservabilità e facili da preparare, infatti permette di rispondere alle nuove esigenze dei consumatori rivolte sempre più alle produzioni di IV gamma. Inoltre, le baby lattughe sono molto apprezzate dai mercati inglesi per le dimensioni più contenute e le caratteristiche estetiche delle foglie.

La destinazione principale del prodotto è la vendita diretta o mercati locali, soprattutto quello dei grandi centri urbani siciliani. Ciò si verifica in particolare quando la coltivazione viene praticata per lo più su modeste superfici, talora dislocate in prossimità dei centri urbani e lungo la fascia costiera. Per le aziende più grandi, la destinazione del prodotto riguarda principalmente i mercati del Nord Italia come prodotto fresco non lavorato, ma in misura preponderante e crescente, come materia prima per il comparto della IV gamma. La coltivazione a livello regionale si presenta assai polverizzata. Solo in alcuni casi sono presenti grosse realtà produttive quali le aziende Giardina e Campisi in provincia di Siracusa.

Nutrizione e concimazione azotata

Per meglio definire le relazioni dose/risposta in condizioni di campo, impiegando lattuga tipo cappuccio, nella Sicilia occidentale sono stati realizzati due cicli di coltivazione che hanno interessato il periodo autunno-vernino (novembre-febbraio) ed il periodo primaverile (marzo-maggio). Nelle prove sono state poste a confronto 4 dosi di concimazione azotata: 150 kg/ha; 100 kg/ha; 50 kg/ha; 0 kg/ha; 0 kg/ha non irrigato. Si è operato in pien'aria su terreno nudo in piano adottando densità di impianto di circa 13 piante/m². Le differenze climatiche nei due periodi di coltura hanno fortemente influenzato lo sviluppo ed il ritmo di accrescimento delle piante. Le produzioni nel periodo autunno-vernino sono state comprese tra 2,9 kg/m² in assenza di concimazione ed irrigazione e 5,1 kg/m² distribuendo 100 e 150 t/ha. Nel periodo primaverile la produzione più elevata, 7,1 kg/m², si è ottenuta con 100 t/ha, mentre è stata compresa tra 5 e 6 kg/m² per le altre piante irrigate. Il contenuto fogliare di nitrati più elevato è stato riscontrato nel periodo autunno-vernino e comunque è stato sempre inferiore a 500 mg/kg p.f..

Per comprendere gli effetti delle forme di N e delle modalità di distribuzione sono state realizzate nel corso di due anni ricerche impiegando la lattuga della tipologia cappuccia. Nel corso di due anni di prove nella Sicilia occidentale in pien'aria (ciclo di coltivazione autunno-vernino e ciclo primaverile) sono stati posti a confronto, per una stessa dose (100 kg/ha), due forme di N (100% N nitrico; 100% N ammoniacale) e due modalità di distribuzione (50% preimp. + 50% copertura; 25% preimp. + 50% copertura + 25% copertura). Si è operato in pien'aria su terreno nudo in piano adottando densità di impianto di circa 13 piante/m².

A livello produttivo la forma di N ha influenzato poco la quantità di prodotto ottenuto, pur con una certa tendenza all'aumento con l'N ammoniacale. Tuttavia, il frazionamento in 3 interventi è risultato peggiorare la quantità di lattughe prodotte soprattutto nel caso della distribuzione di N nitrico. Il peso medio dei cespi è risultato favorito dall'impiego di N ammoniacale, soprattutto in primavera se distribuito in due soli interventi. Il contenuto fogliare di nitrati è risultato poco influenzato dal tipo di concime azotato impiegato. Il maggior frazionamento (3 interventi) ha consentito di ridurre di circa 100 mg/kg p.f. il contenuto di nitrati nelle foglie (circa 500 mg/kg p.f. nelle piante concimate in due interventi).

Durante il Progetto AZORT, l'Università di Catania ha condotto anche alcune prove sugli effetti di alcuni microrganismi promotori della crescita su lattuga romana coltivata in pieno campo con diverse disponibilità di N (Box 6.3).

In conclusione, per la coltivazione della lattuga in ambiente mediterraneo su terreni di media fertilità la concimazione azotata non dovrebbe eccedere i 100 kg/ha. Sarebbero da preferire concimi con prevalenza di N in forma ammoniacale che possono migliorare la pezzatura dei cespi. Il frazionamento dovrebbe essere limitato a due interventi (uno pre-impianto ed uno in copertura) soprattutto nei casi in cui si impiega N in forma nitrica. Per i formulati a base di N ammoniacale si può aumentare a due il numero di fertilizzazioni in copertura per ridurre il contenuto di nitrati nei cespi.

Box 6.3. Effetto di batteri promotori della crescita su lattuga.

Durante il Progetto AZORT, l'Università di Catania ha condotto due prove sperimentali nella Piana di Catania, per testare gli effetti di alcuni microrganismi promotori della crescita (*Alcaligenes piechaudii*, *Azospirillum brasiliense*, *Glomus intraradices* e *Pseudomonas mendocina*) su lattuga della tipologia romana coltivata in pieno campo in condizioni di disponibilità di N differenziate (30 e 100% delle asportazioni teoriche). I promotori sono stati posti a confronto con un testimone non trattato. L'impiego dei microrganismi ha determinato un incremento delle rese e dell'assorbimento di N che comunque è apparso differente in funzione degli apporti dell'elemento somministrati. In particolare, le maggiori differenze del peso fresco del cespo delle piante trattate rispetto al testimone sono state riscontrate in condizione di ridotta disponibilità dell'elemento per i trattamenti con *Alcaligenes*. Le piante trattate con i vari microrganismi hanno fatto registrare un incremento della concentrazione fogliare di N nei tessuti. In condizioni di bassa disponibilità dell'elemento l'inoculo di *Alcaligenes* e *Azospirillum* ha determinato concentrazioni analoghe a quelle del testimone fertilizzato con la dose di N ottimale (110 kg/ha).

Un'altra prova è stata condotta per individuare la frequenza di applicazione dei microrganismi promotori della crescita più idonea. La prova è stata condotta su lattuga della tipologia romana coltivata su terreno sabbioso ed inoculata con *Alcaligenes piechaudii*, *Azospirillum brasiliense*, *Glomus intraradices* e *Pseudomonas mendocina*. Per ogni microrganismo sono state poste a confronto 3 frequenze di applicazione: 1, 3 e 6 applicazioni nel corso del ciclo di coltivazione). È stato osservato un incremento della densità di popolazione microbica nel terreno all'aumentare della frequenza di inoculo; solo nel caso di *Azospirillum*, la maggiore densità si è verificata in corrispondenza di un'applicazione intermedia, probabilmente per l'instaurarsi di fenomeni di competizione. Tuttavia, per tutti i microrganismi saggiati, la frequenza più idonea a stimolare la produzione della lattuga è apparsa quella corrispondente a tre applicazioni, ad eccezione di *Alcaligenes* i cui effetti sono stati enfatizzati in corrispondenza di sei applicazioni nel corso del ciclo di coltivazione. L'incremento della biomassa nelle tesi trattate con i microrganismi è apparso determinato da un aumento della superficie radicale assorbente delle piante, che è apparso più evidente in *Alcaligenes* e *Azospirillum*.

BIBLIOGRAFIA

- Behr, U., Wiebe, H.J., 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Sci. Hortic.* 49, 175-179.
- Burns, I., Zhang, K., Turner, M.K., Meacham, M., Al-Redhiman, K., Lynn, J., Broadley, M.R., Hand, P., Pink, D., 2011a. Screening for genotype and environment effects on

- nitrate accumulation in 24 species of young lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 91, 553-562.
- Burns, I.G., Zhang, K., Turner, M.K., Lynn, J., McClement, S., Hand, P., Pink, D., 2011b. Genotype and environmental effects on nitrate accumulation in a diversity set of lettuce accessions at commercial maturity: the influence of nitrate uptake and assimilation, osmotic interactions and shoot weight and development. *J. Sci. Food Agric.* 91, 2217-2233.
- Capotorti, G., Montemurro, F., Lacertosa, G., Bernardoni, C., Palazzo, D., 1996. Effetti di concimi fogliari sul contenuto di nitrati in lattuga. *Colture Protette*, 1, 65-70.
- Huett, D.O., White, E., 1992. Determination of critical nitrogen concentrations of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in sand culture. *Austr. J. Exp. Agric.* 32, 759-764.
- Karam, F., Mounzer, O., Sarkis, F., Lahoud, R., 2002. Yield and nitrogen recovery of lettuce under different irrigation regimes. *J. Applied Hortic.* 4 (2), 70-76.
- Jackson, L. E., Stivers, L. J., Warden, B. T., Tanji, K. K., 1994. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. *Fertilizer Res.* Volume 37 (2), 93-105
- Lacertosa, G., Montemurro, F., Ferri, D., Vanadia, S., Montemurro, N., 2001. Produzione e qualità di lattuga e melanzana coltivate in serra e campo.
- Montemurro, F., Capotorti, G., Lacertosa, G., Palazzo, D., 1998. Effects of urease and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce. *J. Plant Nutr.* 21 (2), 245-252.
- Parente, A., Santamaria, P., Serio, F., Conversa, G., L'Abbate, P., Bianco, V.V., 2002. Concimazione azotata, cultivar e produzione di lattuga. *Colture protette (supplemento al N.12)*, 28-32.
- Scaife, A., Saraiva-Ferreira, M.E., Turner, M.K., 1986. Effect of nitrogen form on the growth and nitrate accumulation of lettuce. *Plant Soil* 94, 3-16.
- Tropea, G. Fisichella, G. Sambuco, A. Santoro, G., Benintende, P.G., 1998. Influenza di alcune forme di concimazione sul contenuto di nitrati nella lattuga e nella bietola. *Tecnica Agricol* 1-2, 13-21.
- Della Cecca, V., Patruno, A., 1990. Effetti di dose crescenti di azoto sulla produzione e sul contenuto in nitrati della lattuga a cappuccio. *Riv. Agron.*, 24, 167-173.
- Vetrano, F., Iapichino, G., Poma, M.A., Fascella, S., Incalcaterra, G., 2009. Use of organic fertilizers for lettuce plug plant production. In *Proceedings of the International Symposium on Strategies forward sustainability of protected cultivation in mild winter climates*, 607-611.
- Wang, B., Shen, Q., 2011. $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -N ratios on growth and NO_3^- -N remobilization in root vacuoles and cytoplasm of lettuce genotypes. *Canadian J. Plant Sci.* 91, 411-417.

Capitolo 7 – INDIVIA, SCAROLA E RADICCHIO

Stefania De Pascale, Rosanna Caputo, Marco Valerio Del Grosso, Maria Gonnella, Pietro Santamaria e Vanni Tisselli

7.1. INTRODUZIONE¹⁴

Il genere *Cichorium* (Fam. *Asteraceae* o *Compositae*) comprende numerose specie di notevole interesse per l'orticoltura nazionale, tra le quali due sono le più importanti: *Cichorium intybus* (L.), che include cicoria da foglie, da foglie e steli (catalogne e puntarelle) e radicchio; *Cichorium endivia* L., che include indivia (riccia) e scarola.

L'ISTAT censisce unitamente radicchio e cicoria, ma è possibile distinguere le relative superfici in base alla zona di coltivazione. Ad esempio, gli 8.000 ha coltivati in Veneto sono relativi quasi esclusivamente a radicchio. In questa regione si concentra il 50% della superficie nazionale coltivata con questa specie; altre regioni di interesse sono Puglia, Campania, Abruzzo ed Emilia-Romagna. Invece, i 2.000 ha in Puglia sono da attribuire alle cicorie da foglie e da foglie e steli (come le catalogna puntarelle - Brindisina, di Galatina e di Molfetta - e la cicoria all'acqua o otrantina). Nelle altre regioni non c'è una netta prevalenza di un tipo rispetto all'altro (Tab. 7.1).

Tabella 7.1. Superfici (ha) di Cichorium spp. coltivate in Italia (fonte: ISTAT, 2010).

	Radicchi e cicorie	Indivia e scarola
Italia	15.150	9.560
Veneto	8.300	420
Puglia	2.060	3.100
Abruzzo	1.400	1.460
Lazio	540	390
Campania	135	1.180

Indivia

L'indivia (*Cichorium endivia* L.) è un ortaggio da foglia originario del bacino del Mediterraneo coltivato in quasi tutte le regioni italiane (sia in pien'aria sia in ambiente protetto), in particolare in Campania, Puglia, Lazio, Toscana, Calabria, Marche, Toscana; sono diffuse nelle colture biologiche e sono oggetto di esportazione nei periodi invernali

¹⁴ S. De Pascale e V. Tisselli

(Tesi, 2010). Comprende due varietà: var. *latifolium* Hegi o “Indivia scarola” (comunemente chiamata scarola) con foglie a lembo intero e nervatura o “costa” più o meno allargata e ondulata e var. *crispum* Hegi o “Indivia riccia” con foglia increspata e “costa” stretta, entrambe utilizzate come insalate fresche o come verdure da cuocere oppure destinate alla produzione di insalate di IV Gamma.

L’indivia è molto apprezzata per le particolari proprietà toniche, diuretiche e lassative. Presenta un elevato contenuto in acqua (93%) e bassi livelli calorici (10-20 cal/100 g); rilevante il contenuto in vitamina A (1600 U.I.) e vitamina C (10-23 mg/100 g) e composti antiossidanti quali i polifenoli (Llorach *et al.*, 2008), buon contenuto in sali minerali soprattutto K, P e Ca.



Cicoria da foglie



Cicoria da foglie e steli (“puntarelle”)



Radicchio



Indivia “riccia” (*C. endivia* var. *crispum*)

Le principali tipologie di cicoria coltivate in Italia.

L'indivia è una pianta erbacea a ciclo biennale, ma annuale in coltivazione, che produce una rosetta fogliare nel periodo autunno-invernale e emette lo scapo fiorale in primavera. L'apparato radicale è fittonante caratterizzato dalla presenza di una radice principale e dalla presenza di numerose e sottili radici che si accrescono in superficie. In indivia "scarola" le foglie della rosetta presentano un lembo più o meno allungato di colore verde chiaro, bordo intero o dentato, nervatura evidente e di colore bianco, coronano il brevissimo fusto e nell'accrescimento si sovrappongono e si serrano in un grumolo, detto cuore, più o meno compatto a seconda delle cultivar. Nell'indivia "riccia" le foglie sono allungate e il lembo fogliare presenta profonde insenature e margini notevolmente arricciati (la colorazione varia a seconda delle cultivar da verde scuro al verde giallo), non si sovrappongono le une alle altre e quindi il cespo non si presenta molto compatto (cespi con rosetta di foglie a "cuore" ridotto).

Nel secondo anno dopo la semina (anche nel primo, se stimolato dal freddo), il fusto si allunga per dare origine allo scapo fiorale, molto ramificato e di altezza anche superiore a un metro. I fiori ermafroditi, di colore azzurro più o meno intenso, sono riuniti in capolini; il frutto è un achenio.

L'indivia ha basse esigenze termiche. La temperatura ottimale di germinazione varia tra i 20 e 30 °C, mentre per la crescita ha bisogno di temperature tra i 15 e 18 °C; con temperature intorno a -2 °C resiste per poco tempo in fase di rosetta mentre è completamente danneggiata a completo sviluppo. L'indivia riccia presenta una crescita più lenta e risulta più sensibile alle basse temperature rispetto alla scarola in quanto i cespi sono più lassi e presentano una maggiore superficie esposta.

In base all'epoca di impianto, le cultivar di indivia scarola possono essere distinte in due gruppi principali: cultivar per la produzione estivo-autunnale, caratterizzate da crescita rapida e cespi voluminosi con foglie allungate, e cultivar per la produzione invernale, caratterizzate da foglie non molto lunghe ma numerose, serrate e resistenti al freddo. L'indivia riccia invece in cultivar precoci con ciclo primaverile-estivo e cultivar tardive adatte alla coltura autunnale. L'indivia si inserisce nella rotazione tra i cereali ed il rinnovo, come coltura intercalare autunno-vernina, oppure in successione a ortaggi estivi nell'orticoltura specializzata. La coltura ripetuta deve essere evitata poiché possono verificarsi problemi fitosanitari. L'epoca di impianto oscilla da fine inverno per la produzione primaverile a fine estate per la produzione autunno-vernina. La coltivazione può essere realizzata nel seguente modo: coltivazioni in tunnel freddo o con l'impiego di TNT posto direttamente sulle piante: trapianti in inverno e tardo autunno; coltivazioni di pieno campo: primaverili con trapianti in aprile, estive con trapianti in giugno e autunnali con trapianti in settembre. In coltura protetta si effettuano cicli autunnali e vernino-primaverili in rotazione con altre ortive.

Per la preparazione del terreno si procede con un'aratura mediamente profonda (25-30 cm) seguita da una erpicatura e/o fresatura per l'affinamento ed il livellamento della superficie. I terreni devono risultare particolarmente freschi, profondi e ben drenati per agevolare la penetrazione radicale ed evitare marciumi del colletto e asfissia radicale, ben forniti di sostanza organica (1,5-2%) e con pH compreso fra 5,0 e 6,7. In terreni molto sciolti è necessario ricorrere a frequenti adacquate. L'indivia è più sensibile della lattuga alla salinità

del terreno (EC dell'estratto dalla pasta satura $< 2,0$ dS/m) (De Pascale e Barbieri, 1995).

La crescente necessità di sanità e pulizia del prodotto fa propendere verso una sempre maggiore utilizzazione in pieno campo della pacciamatura con film di polietilene nero. La possibilità di meccanizzare contemporaneamente la stesura del film e il trapianto ne sta accelerando la diffusione, interesse crescente riveste anche alla possibilità di impiegare film biodegradabili.

L'impianto può essere effettuato a mano o a macchina sia con semina diretta sia con trapianto. Nell'orticoltura specializzata, la semina si esegue quasi sempre in semenzaio. La coltivazione in cicli primaverili e/o estivi prevede il trapianto su terreno accuratamente lavorato e livellato utilizzando piantine allevate in vivai specializzati. Il sesto di impianto prevede distanze tra le file di 0,4 m con una spaziatura sulla fila di 0,35 m, in modo da realizzare densità colturali tra 55.000 e 60.000 piante/ha. La sistemazione del terreno a solchi singoli o a prose consente un migliore sgrondo dell'acqua di irrigazione o di pioggia e previene eventuali problemi fitosanitari. Per il trapianto si utilizzano piantine preparate in vivaio che devono aver sviluppato almeno 4-5 foglie vere. L'operazione può esser effettuata a mano od a macchina su terreno nudo o pacciamato, portato alla capacità di campo.

La tecnica dell'imbianchimento delle indivie viene praticata generalmente prima della raccolta dato che il "cuore" dei cespi di colore bianco-dorato è uno dei parametri più importanti per la commercializzazione. Le foglie imbiancate sono le più ricercate dai consumatori e di conseguenza dai produttori. La tecnica prevede la legatura del cespo a mezzo di elastico (nel passato con vimini) a circa 40-50 giorni dal trapianto. Le foglie più vecchie vengono riunite al centro verso l'alto ponendo l'elastico nella parte alta del cespo. Una modernizzazione delle tecnica è l'impiego di TNT di colore nero. Con questa tecnica si ha un notevole risparmio della manodopera ma si ottiene un risultato qualitativo minore sia in termini di produttività che di qualità del cespo dato che si possono avere bruciature al cuore. Il TNT di colore azzurro sembra garantire un migliore riempimento del cuore e minori problemi di bruciature. L'operazione d'imbiancamento è particolarmente curata per la produzione indirizzata alla "IV gamma".

Il fabbisogno idrico stagionale oscilla tra 1000 m³/ha in coltura primaverile e 1500 m³/ha in coltura estiva. Il metodo a goccia con ali disperdenti o con manichette forate a bassa portata è il sistema irriguo raccomandabile per l'elevata efficienza, la possibilità di abbinare la fertilizzazione (fertirrigazione) e di frazionare gli apporti secondo il fabbisogno idrico della coltura. Il metodo microirriguo, abbinato alla pacciamatura del terreno consente contemporaneamente sia un efficace controllo delle malattie e delle malerbe che una maggiore conservabilità del prodotto durante le fasi di commercializzazione. I maggiori costi degli impianti a microportata fanno ancora propendere verso i sistemi a microaspersione.

Le esigenze nutritive sono di media entità, con asportazioni per tonnellata di prodotto di 2,6-4,0 kg di N, 2,0-3,4 kg di P₂O₅ e 4,2-6,5 kg di K₂O. Normalmente si considera un fabbisogno di elementi nutritivi di: 120-150 kg/ha di N; 100-120 kg/ha di P₂O₅; 200-250 kg/ha di K₂O. Per un razionale apporto di elementi nutritivi si consiglia una distribuzione in pre-trapianto di tutto il P e il K (da analisi del terreno) e di parte dell'N (circa il 25% del

totale) a cui fare seguire una distribuzione frazionata in copertura del resto dell'N dalla fase di rosetta fino alla fase di ingrossamento del cespo. L'N può essere apportato anche per via fogliare, usando formulati liquidi (ad es. urea). Essenziale è l'apporto di Ca, Mg e zolfo. Il calcio migliora la serbevolezza dei cespi ed il Mg la colorazione; insieme concorrono ad aumentare la tolleranza alla necrosi marginale. Sono consigliate concimazioni organiche da realizzarsi in autunno con la lavorazione del terreno (300-400 q/ha di letame oppure altri prodotti organici di derivazione animale e/o vegetale).

La raccolta dei cespi si realizza a completo accrescimento quando le piante presentano *cuore* con elevato numero di foglie eziolate. I cespi sono recisi manualmente a livello del colletto, ripuliti dalle foglie esterne e disposti in cassette o cartoni. Per una buona conservazione la raccolta dovrebbe essere effettuata con cespi asciutti e nei periodi caldi sarebbe opportuno pre-refrigerare il prodotto sottovuoto. Per evitare perdite di turgescenza e marcescenze fogliari si ricorrere alla conservazione in frigorifero (0 °C e 90-95% U.R.) per brevi periodi (max 20 giorni) in contenitori protetti con film plastici.

Le principali caratteristiche merceologiche considerate per la selezione sono:

- aspetto: cespo compatto in particolare nella parte centrale (cuore pieno);
- colore: dal verde chiaro delle foglie più esterne al bianco di quelle interne;
- aspetto delle foglie: nervatura centrale pronunciata di colore tendente al bianco, foglie turgide e di elevata consistenza (che determinano croccantezza e sensazione di fresco);
- peso del cespo: da 250 a 500 g in funzione della tipo di prodotto (riccia, scarola).

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata nell'indivia assume particolare importanza influenzando direttamente sia la quantità che la qualità del prodotto. Le orticole da foglia, compresa l'indivia, sono tra gli ortaggi quelli che presentano le concentrazioni più elevate di nitrati nelle parti edibili (Santamaria *et al.*, 2002; Graifenberg *et al.*, 1993; Del Zan, 1990). Elevati apporti di fertilizzanti azotati sono, generalmente, considerati necessari per ottenere elevate produzioni di ortaggi da foglia (Hochmuth, 1992), tuttavia, è stato osservato che, incrementi nella disponibilità di N non sempre corrispondono ad aumenti di produzione (McCall e Willumsen, 1998) inoltre un eccesso di questo elemento determina una maggiore sensibilità delle piante ad alcune fitopatie e al freddo e, inoltre, determina un decadimento qualitativo per l'eccessivo allungamento fogliare, la ridotta compattezza del grumolo centrale (o cuore) e il conseguente minore imbiancamento.

La concentrazione di nitrati nelle foglie, in genere, aumenta all'aumentare della disponibilità di N presente nel mezzo di coltivazione (Santamaria ed Elia, 2001; De Pascale *et al.*, 2012) oltre a dipendere da fattori genetici, condizioni ambientali e tecniche agronomiche (Gonnella *et al.*, 2002; Maynard e Barker, 1979). In studi condotti su scarola "riccia" (Maggio *et al.*, 2007) il contenuto di nitrati delle foglie non è aumentato passando dalla tesi non concimata a quella concimata con 100 kg/ha di N probabilmente a causa di una sufficiente dotazione di N nel terreno. Infatti, il contenuto di nitrato nelle piante non è solo determinato dall'N apportato con la concimazione, ma dipende dalla quantità totale di tale elemento

presente nel terreno (residui colturali, concimazioni, mineralizzazione della sostanza organica, residui di concimazioni nei cicli precedenti, ecc.) e, in particolare, da quella “potenzialmente disponibile” per la pianta (Bonasia *et al.*, 2002) e “potenzialmente utilizzabile” dalla pianta (i.e. dall’intensità luminosa). Sempre nello stesso esperimento, un ulteriore incremento di N (200 kg/ha) ha comportato un aumento di 4 volte del contenuto fogliare di nitrati. Questi risultati sono in linea con un effetto di accumulo associato a eccessi di N già riportato da altri Autori (Dellacecca e Patruno, 1990). Riveste una particolare importanza anche la forma di N somministrata. Le principali forme di N apportate con i fertilizzanti sono: l’ammonio (NH_4^+), il nitrato (NO_3^-) e l’urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Le piante soddisfano il proprio fabbisogno di questa nutriente assorbendo prevalentemente N nitrico, che rappresenta la forma chimica più abbondante nella soluzione circolante del terreno, e N ammoniacale anche se quest’ultimo non rappresenta la forma preferita dalle piante (Salsac *et al.*, 1987) in quanto l’assorbimento dell’ammonio, da solo o ad alti livelli, può andare oltre la capacità di assimilazione causando tossicità (Maynard e Barker, 1969). In orticoltura si impiegano anche forme organiche poiché le piante assorbono anche amminoacidi (Maynard e Lorenz, 1979). Alcuni autori hanno dimostrato che è possibile ridurre il contenuto di nitrato nei cespi di indivia coltivata in idroponica somministrando N in forma esclusivamente ammoniacale (Elia e Santamaria, 1997) e che una concimazione a base di N ammoniacale e N nitrico in parti uguali aumenta la produzione rispetto alla sola somministrazione in forma nitrica o ammoniacale (Santamaria e Gonnella, 1997).

Su indivia non sono state riscontrate differenze nell’accumulo di nitrati nelle foglie rispetto al tipo di concime utilizzato (organico vs. minerale) e, in ogni caso le concentrazioni di nitrati riscontrate sono risultate inferiori ai limiti imposti dal Reg. CE per la lattuga (De Pascale *et al.*, 2012). Accumulo di nitrati nelle foglie, invece, sono stati registrati in presenza di pacciamatura (Vallone *et al.*, 2008). In questo caso, la copertura del suolo ha verosimilmente ridotto la lisciviazione di questo elemento ad opera delle piogge e conseguentemente ha contribuito a mantenere le concentrazioni di N più elevate, durante l’intero ciclo colturale, nello strato di terreno interessato dalle radici. Non va inoltre escluso un possibile incremento della temperatura della zona radicale nelle tesi pacciamate che potrebbe avere stimolato l’attività di assorbimento e traslocazione dell’N (Chen *et al.*, 2004). Risultati simili sono stati documentati da Tesi e Lenzi (2005) che in una sperimentazione analoga su specie ortive da foglia hanno evidenziato un aumento della disponibilità di N in presenza di pacciamatura.

Radicchio

Il termine “radicchio” deriva dal latino volgare “*radiculum*” a sua volta diminutivo di “*radix*”, che significa “radice”. La cicoria (o radicchio selvatico; *Cichorium intybus*) era già conosciuta dai Greci e dai Romani che la usavano cruda come insalata attribuendole proprietà terapeutiche tra cui quella di curare l’insonnia. Si trovano poi citazioni di Plinio il Vecchio (23–79 a.C.) nel “*Naturalis Historia*” e di Galeno (129 d.C.– 210 d.C.) che la definisce erba amica del fegato. La radice della cicoria serviva anche per fare un surrogato del caffè,

impiego introdotto nel XVII secolo a scopo terapeutico.

Il radicchio ha molte caratteristiche benefiche: è depurativo e grazie all'elevato contenuto di vitamina A, vitamina C e ferro, facilita la digestione, la funzione epatica e stimola la secrezione biliare. Ha un contenuto in acqua del 94%, in proteine dell'1,4% in lipidi dello 0,1% e in fibra del 3%. Come vediamo è un alimento poco calorico, ricco di acqua, con una discreta quantità di fibre e buona fonte di sali minerali; contiene, inoltre, i polifenoli come le anticianidine e antocianine, ad attività antiossidante e responsabili del caratteristico colore rosso. Il radicchio per il suo contenuto in acqua e sali ha proprietà diuretiche. Può essere consumato sia crudo che cotto ma in questo ultimo caso si ha una perdita del contenuto di vitamine sensibili alle alte temperature come la vitamina C, cui si aggiunge anche una perdita di sali minerali se lo lessiamo ed eliminiamo l'acqua di cottura.

Il radicchio presenta normalmente una buona adattabilità alle diverse condizioni sia di clima che di terreno; preferisce tuttavia terreni sciolti, che consentono di poter meglio gestire le diverse operazioni colturali. Le selezioni più tardive sopportano anche basse e tollerano le gelate, anche se in tali condizioni l'apparato fogliare può subire dei danni. Lo sviluppo della pianta è ottimale con valori termici compresi fra i 15 ed i 20 °C, mentre si arresta al di sotto dei 6-8 °C, la germinazione avviene in 2-4 giorni con temperature di 20 °C, mentre il periodo si allunga a 5-8 giorni con valori di 10 °C. Il freddo improvviso, in condizioni di giorno lungo, favoriscono la prefioritura e possono tradursi in fenomeni di salita a seme anticipata che possono compromettere la redditività della coltura. Il radicchio preferisce terreni sciolti, ben drenati, irrigui, ricchi di sostanza organica e con pH fra 6 e 7.



Radicchio rosso di Treviso (a sinistra) e radicchio di Chioggia (a destra).

È convinzione diffusa che tutte le cultivar di radicchio attualmente coltivate derivino da individui a foglie rosse, riconducibili al “Rosso di Treviso” che, introdotto in Europa intorno al XV secolo, ha iniziato ad espandersi in tutte le zone tipiche del Veneto nel corso del secolo successivo. A partire dal “Rosso di Treviso” attraverso una selezione massale si è riusciti ad ottenere i tipi oggi giorno conosciuti e coltivati.

A partire dal 1930 gli orticoltori di Chioggia hanno iniziato la coltivazione del “Variegato di Castelfranco” sul quale hanno operato una intensa opera di selezione massale mirata a destinare come portaseme soltanto le piante con spiccata propensione alla formazione di un grumulo con foglie centrali strettamente embricate. Si è così costituito il “Variegato di Chioggia” dal quale, in tempi successivi, selezionando le piante con screziature rosse sempre più diffuse ed estese, si è differenziato, intorno al 1950, il “Rosso di Chioggia”.

Allo stato spontaneo, appartengono alle cicorie piante con radice perennante o biennali, che formano, nella fase iniziale di crescita del primo anno, una rosetta di foglie e al secondo lo stelo.

Nella pratica comune, i radicchi sono coltivati come piante annuali, con semine e/o trapianti durante tutto l’anno (all’aperto o in ambiente protetto). Le radici, fittonanti con funzione di riserva, hanno forma conica o fusiforme e si approfondiscono per 30-50 cm.

Lo stelo, che porta i fiori, è molto ramificato e raggiunge altezze che, in casi particolarmente favorevoli di coltura, superano i 200 cm. La fioritura inizia in maggio-giugno, si protrae per oltre un mese ed è scalare nell’ambito della pianta, a partire dalla base. Il radicchio è pianta tipicamente allogama, che male sopporta l’autofecondazione. L’impollinazione è prevalentemente entomofila e gli insetti, api in particolare, visitano i fiori per bottinare sia il polline che il nettare.

I radicchi vengono classificati in base all’epoca di raccolta, in precoci e tardivi, ed in base alla colorazione e alla forma della foglia, in rossi, variegati e bianchi.

Per la messa a dimora si consiglia un buon livellamento del terreno così da evitare ristagni idrici una lavorazione del terreno con vangatrice o fresa ad una profondità di cm 30-40, seguita da più interventi di erpicatura al fine di ottenere una ottimale preparazione del letto di semina. In alcuni casi è ancora praticata la semina diretta attuata con seminatrici di precisione che operano su file semplici distanti 45-50 cm, con distribuzione di 0,5-0,8 kg/ha di seme. Quando le piante hanno raggiunto lo stadio 3-4 foglie vere, si dirada lasciando 2-3 piantine ogni 0,25-0,35 m sulla fila; trascorsi 10-15 giorni, l’intervento è ripetuto in modo da lasciare una sola pianta e ottenere una densità definitiva di 7-10 piante/m². Molto più diffuso oggi è il trapianto di piantine allevate in vivaio. Il trapianto, oltre a lasciare maggior tempo per la preparazione del terreno e consentire un sensibile risparmio di seme, permette anche di migliorare l’uniformità di investimento. Ancora scarsamente impiegato, principalmente per il maggior costo, risulta invece il cubetto di torba pressata di 30-40 mm di lato, che, tuttavia, garantisce una sensibile riduzione dello stress da trapianto e un interessante anticipo del ciclo produttivo in quanto questo tipo di materiale evita qualsiasi danno all’apparato radicale in fase di posa a dimora. Per il trapianto di piantine, siano esse in contenitore alveolato o in cubetto pressato, vengono utilizzate trapiantatrici portate o semoventi che operano secondo i sesti d’impianto già ricordati nel caso della semina diretta.

La raccolta si effettua nei mesi di ottobre e novembre. Dopo la raccolta e toelettatura del cespo, che consiste nell’eliminazione delle foglie esterne e nel recidere e raschiare la radice a 3-5 cm, il prodotto viene immesso sul mercato o destinato alla frigo-conservazione per un periodo abbastanza breve.

Nutrizione e concimazione azotata

Il radicchio non è una specie particolarmente esigente riguardo la concimazione, ma si avvantaggia di una buona dotazione di sostanza organica del terreno. Soprattutto su terreni sciolti o scarsamente dotati di sostanza organica, è pertanto consigliato l'apporto di letame maturo in ragione di 40-60 t/ha o di concimi organici commerciali.

In bibliografia si riportano asportazioni pari a 2,5 kg di N, 0,3 kg di P_2O_5 e 5,6 kg di K_2O per tonnellata di prodotto fresco. In bibliografia Ćustić dell'Università di Zagabria riporta valori di asportazione dell'N pari a 2,92-3,69 % di N più bassi di quanto registrati su lattuga (Bergmann 1992) e cavoli (Krug 1986).

La concimazione azotata influenza anche il contenuto di nitrati nel radicchio, ma come riporta Ćustić il livello di nitrati è influenzato maggiormente dalla disponibilità di acqua nel periodo di sviluppo che influenza l'assorbimento. Hamouz *et al.* (1999) hanno dimostrato come vi sia grande variabilità nell'assorbimento di nitrati in funzione della località di coltivazione o degli andamenti stagionali.

Studi condotti sempre da Ćustić dimostrano che all'aumentare della dose di concime azotato aumenta anche il quantitativo di nitrati nelle foglie. Allo stesso tempo si riscontra come con il progredire dello sviluppo vegetativo diminuisce la concentrazione di nitrati che viene diluita nella maggiore biomassa del prodotto.

Per ottenere alti livelli di produzione in condizioni di normale dotazione del terreno si possono ritenere adeguati apporti di 100-120 kg/ha di P_2O_5 e di 110-130 kg/ha di K_2O . L'N andrà invece frazionato in parte alla preparazione del terreno e in parte in copertura. Nella pratica si ritengono sufficienti apporti di N pari a 140 kg/ha, distribuiti 1/3 in pre-semina o pre-trapianto, 1/3 al diradamento o superamento della crisi di trapianto e 1/3 circa 20 giorni dopo tale momento. Alcuni studi dimostrano come si abbiano incrementi di resa fino a 200 kg/ha di N tuttavia la tendenza non è sempre confermata (Pimpini, 1978); inoltre, un eccesso di N può avere effetti negativi sia sullo stato sanitario delle piante, sia sulla conservabilità dei grumoli.

7.2. RADICCHIO IN EMILIA-ROMAGNA¹⁵

Il radicchio in Emilia-Romagna interessa 740 ha di superficie (dati Istat 2012) concentrati prevalentemente nella parte settentrionale della provincia di Ferrara che confina con la regione Veneto da cui la coltura si è progressivamente espansa a partire dagli anni '60. La superficie è soggetta a variazione di anno in anno in funzione di aspetti agronomici ma soprattutto degli andamenti di mercato. Occorre però evidenziare come negli ultimi anni c'è stata una contrazione della superficie coltivata con questa specie.

In Emilia-Romagna, la coltura è diffusa prevalentemente su terreni sabbiosi dove spesso è praticata l'irrigazione per innalzamento della falda e infiltrazione dai fossi laterali.

Il clima in provincia di Ferrara perde di continentalità più ci si sposta verso la costa. Le estati sono calde e molto umide, con sporadiche presenze di nebbia. La siccità è molto

¹⁵ V. Tisselli

frequente anche se capita a volte che alcuni fronti in scorrimento a nord del fiume Po riescano a sfiorare con temporali, anche forti, le zone più settentrionali della provincia portando pioggia, e spesso grandine. La zona maggiormente piovosa in estate e più temporalesca è il delta del Po. In autunno, la caratteristica principale è la nebbia, che può durare fitta per lunghi periodi, lasciando questa zona senza sole per periodi anche di un mese. Le nevicate sono rarissime e in inverno è ancora la nebbia a farla da padrona con temperature rigide e frequenti galaverne. In primavera le giornate sono ancora spesso nebbiose, soprattutto in aprile, con nebbie mattutine, anche in maggio e giugno.

Il radicchio nel litorale ferrarese è una tipica coltura intercalare che segue i cereali autunno-vernini e precede colture quali pomodoro da industria, carota, patate o melone. Talora il radicchio si alterna a vivai per la produzione di bietolotti da seme. Gli agricoltori, consigliati spesso dai tecnici delle strutture cooperative, tendono a rispettare le prescrizioni del DPI della Regione Emilia-Romagna, che non ammette il ristoppio. Il DPI prevede che, qualora si effettui un solo ciclo all'anno, il terreno deve essere mantenuto arato e senza colture durante l'estate-autunno oppure far seguire la coltura da due cicli di altre specie. È ammessa anche la successione cereale (autunno - vernino) – radicchio al massimo per due anni, a condizione di avere successivamente un intervallo di due anni durante il quale è esclusa la coltivazione di specie appartenenti alla famiglia delle Composite. Se si effettuano due cicli all'anno si deve rispettare un intervallo di 2 anni o di 3 cicli di altre colture con almeno un cereale autunno-vernino e con l'esclusione di specie appartenenti alla famiglia delle composite. Inoltre, per i regolamenti che prevedono impegni pluriennali (Reg. CE 1698/05), le colture di cicoria e indivie devono rientrare in una successione minima quadriennale, nella quale siano inserite almeno tre colture diverse.

I sesti impianto e le densità di investimento dei radicchi variano da 25-35 cm sulla fila e 30-50 cm tra le file, con una densità compresa tra 80.000 e 200.000 piante/ha; sono più alte nel caso del radicchio rosso di Verona tardivo (150.000 – 200.000 piante/ha).

Come materiale di propagazione si utilizzano piantine allevate in contenitori alveolati o in cubetti di torba pressata, trapiantate quando hanno 4-5 foglie vere. Per produzioni precoci si effettuano trapianti dal 1 al 15 luglio. I trapianti nel periodo di agosto, sono destinati alle produzioni autunno-vernine. Nel trevigiano spesso si preferisce la semina diretta.

Nella zona del litorale ferrarese si coltiva quasi esclusivamente radicchio rosso di Chioggia che viene venduto dalle strutture cooperative presenti oppure è ritirato da commercianti veneti che integrano le produzioni dell'oltre Po. Questo tipo di radicchio viene trapiantato in cubetti di torba pressata adottando un sesto d'impianto che varia da 40 x 40 cm a 35 x 40 cm a 35 x 35 cm a seconda dell'epoca o della meccanizzazione aziendale. Normalmente i trapianti sono effettuati in due epoche: 1) da fine luglio a fine settembre per raccolte da fine ottobre a fine marzo; 2) primaverile in marzo per raccolte in maggio – giugno.

Per i trapianti precoci estivi e per quelli primaverili si sta diffondendo l'uso di varietà ibride mentre per gli estivi tardivi si utilizzano selezioni locali. Nei trapianti primaverili è diffuso l'uso di apprestamenti protettivi contro le basse temperature; vengono usati tunnellini coperti con film plastico o teli di tessuto non tessuto. L'irrigazione è effettuata per aspersione

e non si utilizzano pacciamature. La concimazione viene attuata nel rispetto dei DPI sulla base di analisi del terreno ripetute almeno a cadenza quinquennale.

Per quanto riguarda la difesa si segnalano problemi da nottue fogliari, sclerotinia e oidio. La difesa è effettuata utilizzando prodotti inseriti all'interno dei disciplinari di produzione integrata della regione Emilia-Romagna. Non vengono segnalati danni da nematodi pur coltivando su suoli sabbiosi con forte presenza del parassita ma si notano effetti positivi sull'aspetto produttivo e di uniformità del cespo se il terreno viene previamente fumigato utilizzando 1,3 dicloropropene.

Essendo la zona ventosa e il terreno sabbioso, spesso si rende necessario dopo il trapianto stendere sul terreno materiale paglioso compostato che blocca l'azione del vento.

La coltura viene normalmente attuata su superfici di qualche ettaro e la maggior parte delle operazioni colturali è meccanizzata, a partire dal trapianto per arrivare alla raccolta che viene effettuata ancora a mano, ma che vede l'ausilio di nastri convogliatori per portare il prodotto ai *bins*. Nella maggior parte dei casi la ripulitura del cespo dalle foglie più vecchie e la tolettatura vengono effettuate all'interno dei magazzini per avere un risparmio di manodopera. In questo caso però il residuo colturale spesso superiore al 50% del peso complessivo del cespo, viene destinato all'alimentazione del bestiame e non ritorna sui campi. Il radicchio viene poi confezionato e commercializzato sul mercato interno o su quello estero (Nord-Europa, in particolare Germania). Qualora sia prevista una fase di conservazione questo avviene in celle frigorifere, e si effettua con cespi grezzi non ripuliti e toelettati.

Dal trapianto alla raccolta sono necessari circa 60-80 giorni per le varietà a ciclo corto e almeno 90-160 giorni per le varietà tardive. Le varietà più diffuse, sono quelle inserite all'interno delle liste di consigliate dal Disciplinare della Regione Emilia-Romagna e sono in larga parte riconducibili alla tipologia rosso di Chioggia nelle sue selezioni precoci, medie e tardive: Fiero, Giove, Indigo, Leonardo, Rossa di Chioggia. Meno diffuse sono le altre tipologie: Rossa di Verona, Rossini, Variegata di Castelfranco, Variegata di Chioggia.

Generalmente la coltura presenta problemi di oidio che produce una muffa bianca sulle foglie danneggiando quelle più vecchie. È importante proteggere la coltura ad evitare che l'oidio intacchi la palla in formazione.

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata deve coniugare l'esigenza di produrre cespi pesanti di buona dimensione in grado di garantire un reddito per l'agricoltore e allo stesso tempo di non inquinare essendo in zone caratterizzate da terreno sabbioso e soprattutto prospicienti il mare con conseguenti rischi di inquinamento delle falde superficiali. Normalmente gli agricoltori associano alla concimazione minerale una concimazione organica che svolge importanti funzioni sia dal punto di vista nutrizionale che di contenimento dell'azione abrasiva del vento.

La tessitura del terreno ed il clima dell'area portano tuttavia ad una rapida mineralizzazione della sostanza organica che tende pertanto ad avere valori piuttosto bassi. Da circa 20 anni, l'Emilia-Romagna ha adottato DPI, che hanno teso a razionalizzare l'impiego dei mezzi tecnici e dei concimi in particolare. Gli agricoltori dell'area essendo spesso

associati a strutture cooperative applicano abbastanza fedelmente le disposizioni del disciplinare, soprattutto perché un mancato rispetto di queste disposizioni comprometterebbe l'erogazione dei contributi legati all'applicazione dell'OCM ortofrutta. Per quanto riguarda in particolare l'N, le dosi sono definite in funzione del bilancio semplificato o più spesso sull'utilizzo di tabelle (v. esempio riportati di seguito), che stabiliscono una dose standard di N (120 kg/ha) in base ad una produzione stimata di 16-24 t/ha, dose che può essere aumentata o ridotta in funzione di alcune variabili.

Quantitativo di azoto da sottrarre (-) o aggiungere (+) alla dose standard di 120 kg/ha in funzione delle condizioni colturali	
- 20 kg: se si prevedono produzioni inferiori 16 t/ha;	+ 20 kg: se si prevedono produzioni superiori a 24 t/ha;
- 20 kg: in caso di apporto di ammendante alla coltura in precessione;	+ 20 kg: in caso di scarsa dotazione di sostanza organica;
- 15 kg: in caso di elevata dotazione di sostanza organica;	+ 30 kg: in caso di successione ad un cereale con paglia interrata;
- 15 kg: in caso di successione a leguminose annuale.	+ 15 kg: in caso di forte lisciviazione dovuta a surplus pluviometrico in specifici periodi dell'anno (es. pioggia superiore a 300 mm nel periodo ottobre-febbraio).
	+ 20 kg: in caso di forti escursioni termiche e precipitazioni anomale durante la coltivazione (dati bollettino).

Il metodo semplificato fornisce indicazioni ovviamente meno precise rispetto a quelle del bilancio di N, ma si ritiene sufficientemente attendibile quale strumento per evitare eccessi di concimazione azotata perché deriva dall'esperienza maturata in più anni dai servizi tecnici delle diverse strutture avvalendosi anche di prove di concimazione e da un'attenta analisi dei risultati produttivi ottenuti dalle aziende agricole su più cicli di attività.

L'attività svolta durante il progetto AZORT su radicchio (Box 7.1) ha fornito interessanti risultati che confermano in parte osservazioni già effettuate da altri studiosi in realtà produttive e pedoclimatiche diverse.

La gestione della concimazione azotata da apportare alle colture di radicchio in provincia di Ferrara si basa sulle prescrizioni del DPI dell'Emilia-Romagna e sui risultati della sperimentazione condotta. In particolare:

1) il quantitativo totale di N da distribuire in pre-semina e in copertura deve fornire alla coltura la quantità necessaria a garantire il regolare sviluppo fino alla raccolta. Occorre tener conto che una parte di N viene apportata con le precipitazioni, una parte attraverso la mineralizzazione della sostanza organica, e che per contro oltre alle quantità asportate dalla coltura, vi sono perdite per lisciviazione dovute alle irrigazioni frequenti;

3) La distribuzione di N deve essere frazionata in pre-semina e in copertura per rendere

l'elemento disponibile nel momento di massimo fabbisogno. Occorre considerare l'intervallo di massimo sviluppo della pianta e non tanto la lunghezza del ciclo fino alla raccolta perché questa può dipendere non solo da fattori agronomici ma anche di mercato; cosicché talora il prodotto già maturo può restare in campo in attesa di favorevoli condizioni.

4) La tipologia di fertilizzante deve tenere conto della necessità di assorbimento rapido o più lento, in base al ciclo della coltura. Per la concimazione in pre-semina sono preferibili i concimi misti-organici, anche se spesso, essendo la concimazione effettuata in prossimità trapianto si può utilizzare nitrato ammonico. Per gli interventi in copertura è consigliato il nitrato d'ammonio.

Box 7.1. Risultati del Progetto AZORT su radicchio in Emilia-Romagna

Nel triennio 2007-2009, sono state realizzate tre prove sperimentali nella medesima località Bosco Mesola, nel comune di Mesola (FE), su terreno a tessitura sabbioso-franca con 82% di sabbia, 6 % di argilla e 12% di limo. La dotazione di sostanza organica e di N era ritenuta normale mentre basso era il valore del P assimilabile e molto elevato quello di K assimilabile. Il terreno è stato sottoposto a concimazione di fondo prima dell'impianto e successivamente sono stati distribuiti quantitativi di P e K ammessi dal disciplinare di produzione integrata della regione Emilia-Romagna pari a 100 kg/ha di P_2O_5 e 80 kg di K_2O . In tutti e tre gli anni i trapianti sono stati effettuati ai primi di agosto e sono state impostate 5 tesi di concimazione di N: 0, 50, 100, 150 e 200 kg/ha. Le tre dosi più alte era quelle previste per produzioni pari al 50%, 75% e 100% della produzione massima attesa.

I principali risultati sono riportati di seguito:

- Le produzioni sono state comprese tra 19,0 e 23,4 t/ha, con un *harvest index* medio del 80%. Il contenuto fogliare di sostanza secca alla raccolta è variato tra 9,4 e 9,5%.
- Le concentrazioni di $N_{nitrico}$ nel terreno sotto radice sono passate da 46,53 (nella tesi 0 kg/ha) a 67,3 mg/kg (nella tesi 200 kg/ha).
- Il contenuto fogliare è diminuito con l'età delle piante e alla raccolta era compreso tra 2,6% e 3,3% (peso secco). Quindi, considerando un HI del 80% ed un contenuto fogliare di sostanza secca medio del 9,5%, le asportazioni unitarie sono si possono considerare variabili da 1,97 a 2,5 kg N/t di prodotto utile.
- Il contenuto di N nitrico nel terreno diminuisce con il procedere dello sviluppo della coltura nelle tesi a più basso dosaggio di concimazione, resta abbastanza stazionario con 100 kg/ha di N mentre aumenta alle dosi maggiori di concimazione. Tenuto conto dei dati produttivi si può pertanto affermare che con un contenuto iniziale attorno ai 50 mg/kg di N nitrico siano sufficienti 100 kg di N distribuito alla coltura.
- Il contenuto di nitrati nelle foglie alla raccolta è variato da 33 mg/kg p.f. nella tesi non concimata a circa 700 mg/kg p.f. nella tesi 200 kg/ha, ben al di sotto dei limiti (3500 mg/kg p.f.) imposti dal Reg. C.E. 1258/2011 per colture come la lattuga.

7.3. SCAROLA IN CAMPANIA¹⁶

Informazioni generali

In Campania l'indivia di pieno campo costituisce una voce importante per l'economia orticola ed è particolarmente diffusa nella provincia di Salerno (895 ha) e di Napoli (173 ha) (dati ISTAT, 2004), con una produzione di 360.400 e 42.450 quintali rispettivamente (dati ISTAT, 2011). Negli ultimi anni c'è stata comunque una contrazione della superficie coltivata con questa specie. Nell'elenco dei prodotti vegetali (allo stato naturale o trasformato) tradizionali del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) è presente la scarola bianca riccia "Schiana" (detta anche "paparegna") prodotta in Campania (D.M. 19/6/2001 GU 161 del 13/07/2001).



Coltura di indivia scarola in provincia di Salerno.

È molto rustica e presenta un cespo grosso e pieno con foglie dal sapore croccante e leggermente amarognolo. Si produce in autunno o inverno ed i suoi cespi, quindici giorni prima della raccolta, vengono nelle coltivazioni tradizionali legati con paglia, giunchi o rafia per l'imbiancamento, operazione che deve essere effettuata dopo una giornata soleggiata in modo che le foglie interne siano asciutte per evitare eventuali marciumi). È "schiana", cioè "piana", perché presenta una foglia larga dai margini molto frastagliati. È l'ingrediente fondamentale per la tradizionale pizza di scarole napoletana.

La tipicità dell'indivia in Campania è soprattutto legata alle favorevoli condizioni pedoclimatiche delle aree a vocazione orticola della provincia di Salerno, quali l'Agro Sarnese-Nocerino e la Piana del Sele, e all'utilizzazione di tecniche di coltivazione tradizionali.

¹⁶ S. De Pascale, M. V. Del Grosso e R. Caputo

Agro Sarnese-Nocerino

Il comprensorio dell'Agro Sarnese-Nocerino si estende nella pianura del Sarno che è ricoperta per la maggior parte da materiale piroclastico di origine vulcanica. Dal punto di vista strettamente pedologico, i terreni dell'Agro Sarnese-Nocerino si presentano molto profondi, soffici, con buona dotazione di sostanza organica ed un'elevata quantità di P assimilabile e di K scambiabile. L'idrologia del territorio è molto ricca per la presenza di numerose sorgenti e di abbondanti falde a diversa profondità. L'acqua per uso irriguo, in genere viene derivata da pozzi che si alimentano direttamente dalla falda freatica. Il clima dell'Agro Sarnese-Nocerino risente della benefica influenza del mare. Le escursioni termiche sono contenute e qualora il termometro scenda al disotto dello zero, non vi permane a lungo; la grandine è una meteora piuttosto rara. Le temperature medie oscillano tra un minimo di 7,7°C a gennaio e un massimo di 22,4 a luglio. I venti dominanti sono il Maestro del Nord e lo Scirocco del Sud. Le piogge sono abbondanti in autunno ed inverno (900 mm) e più scarse in primavera ed estate (300 mm). Sebbene le piogge difettino nei mesi estivi, l'umidità relativa dell'aria si mantiene piuttosto elevata.

Piana del Sele

I terreni della Piana del Sele, sono costituiti da una serie di tre ordini di terrazzi alluvionali pleistocenici, diversamente dislocati, a morfologia sub-pianeggiante, ma incisi profondamente da corsi d'acqua minori che scorrono trasversalmente alla piana in direzione del mare. L'area dei terrazzi alluvionali è interrotta, verso la zona costiera, da una serie di cordoni dunali antichi che poggiano sul terzo terrazzo e che rappresentano il passaggio ad una zona retrodunale depressa, bonificata, che mantiene i caratteri idromorfi di area umida. Esistono diversi tipi di suolo: suoli molto profondi, su sedimenti fluviali antichi, a profilo fortemente differenziato, con orizzonti profondi ad accumulo alluvionale di argilla e carbonato di calcio (franco-argillosi); suoli molto profondi, a profilo fortemente differenziato, ad alterazione geochimica spinta (argillosi), suoli sabbiosi delle dune, calcarei, a drenaggio rapido; suoli a profilo moderatamente differenziato, a vario grado di rimaneggiamento per erosione, a tessitura moderatamente grossolana (sabbioso-franchi); suoli sabbiosi, calcarei, a drenaggio rapido.

Per quanto riguarda il clima, le temperature medie oscillano tra un minimo di 8,8 °C a Gennaio e un massimo di 23,2°C ad agosto, le piogge sono abbondanti nel semestre autunno-vernino (700 mm) e più scarse in primavera ed estate (200 mm).

Nella provincia di Salerno, l'epoca di impianto dell'indivia scarola e riccia in pieno campo oscilla tra fine estate e inizio autunno in successione ad ortaggi estivi nell'orticoltura specializzata, per la produzione vernino-primaverile. I trapianti iniziano generalmente a fine agosto-inizio settembre e terminano non oltre la seconda decade di ottobre. La durata del ciclo varia tra 60-70 (impianti precoci) e 150-160 giorni (impianti tardivi). In coltura protetta si effettuano cicli autunnali e vernino-primaverili in rotazione con altre ortive. La raccolta dei cespi si realizza a completo accrescimento quando le piante presentano cuore con elevato numero di foglie eziolate. I cespi sono recisi manualmente a livello del colletto, ripuliti dalle

foglie esterne e disposti in cassette o cartoni. La quasi totalità della produzione è destinata al mercato fresco del Centro e Nord Italia e del Nord Europa. Nell'estate 2005 sono stati registrati prezzi netti sui mercati all'ingrosso tra 0,6 e 0,8 €/kg a Roma e tra 0,90 e 1,15 €/kg a Milano (dati ISMEA, 2006). Parte del prodotto è destinato alla IV gamma (prodotto fresco imbustato e pronto all'uso) con trasformazione in industrie alimentari della Piana del Sele.

Concimazione azotata

Nella coltivazione in pieno campo di scarola, la concimazione azotata assume particolare importanza in quanto è necessario trovare una giusta compromesso tra qualità del prodotto e rispetto dell'ambiente. La Regione Campania ha recepito la cosiddetta Direttiva Nitrati e definito il Programma d'azione per le zone vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola (ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/99 e successive modifiche ed integrazioni). Le principali norme del DPI della Regione Campania riguardanti la gestione della fertilizzazione nelle colture integrate sono riportate nel Box 7.2.

Box 7.2. Sintesi del DPI della Regione Campania

- Le dosi di unità fertilizzanti somministrate non devono superare le asportazioni effettuate dalla produzione, al netto degli apporti provenienti dalla fertilità del terreno e delle perdite per immobilizzazioni e dispersioni, con un apporto massimo di 150 kg/ha. Il DPI impone anche l'obbligo di un piano di concimazione formulato in base ai risultati dell'analisi del terreno.
- Se l'azienda ricade all'interno di una zona vulnerabile ai nitrati, l'agricoltore dovrà impostare il piano di concimazione azotata seguendo le norme previste, per quella particolare zona, dal relativo Programma d'azione e per la determinazione della quantità di N da distribuire dovrà adottare la specifica procedura di calcolo e le tabelle di riferimento in questo contenute.
- Se l'azienda aderisce al metodo di produzione integrata, l'agricoltore dovrà, una volta effettuato il calcolo, controllare se la dose individuata rientra nei limiti previsti dalla vigente normativa e, se non vi rientra, distribuire una dose non superiore a quella indicata dalla normativa stessa.

Le zone vulnerabili all'inquinamento da nitrati di origine agricola (ZVN) sono state individuate ed approvate con delibera n. 700 del 18 febbraio 2003 (pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Campania n. 12 del 17 marzo 2003), attraverso la predisposizione di un'idonea cartografia. Nella Provincia di Salerno sono presenti 70 comuni interessati dalle ZVN molti dei quali caratterizzati da un'orticoltura specializzata.

L'indivia scarola, essendo una coltura a ciclo breve, è caratterizzata da un

accrescimento e, quindi asportazioni di elementi nutritivi, che procedono lentamente nei due terzi del ciclo colturale per subire brusche accelerazioni nel periodo che precede la raccolta, quando viene prodotto oltre il 50% della biomassa epigea. L'N è somministrato in dosi frazionate, generalmente per metà all'impianto e la restante parte prima che le foglie abbiano coperto il terreno.

Nelle prove effettuate dall'Università di Napoli Federico II, differenze significative sono state osservate nella produzione di scarola in ciclo vernino-primaverile ed estivo in funzione delle caratteristiche del terreno (sabbioso vs. argilloso), della presenza o meno di pacciamatura, della tipologia di concime (organico vs. minerale) e della dose di N (da 0 a 200 kg/ha). Le produzioni sono risultate variabili tra 30 e 50 t/ha, con un *harvest index* (HI) pari al 98%. Il contenuto fogliare di sostanza secca alla raccolta è oscillato tra 6,5 e 7,5% con un contenuto di N totale nelle foglie, sulla base della sostanza secca, tra 3,5 e 4,5%. Una sintesi dei risultati di queste sperimentazioni è riportata nel Box 7.3.

Box 7.3 - Sintesi dei risultati delle prove sulla indivia della Piana del Sele (Salerno) condotte dall'Università Federico II.

- Le produzioni erano comprese tra 30 e 50 t/ha, con un *harvest index* (HI) del 98%. Produzioni maggiori sono state ottenute nel ciclo vernino-primaverile, con la pacciamatura e su terreno tendenzialmente argilloso.
- La produzione commerciale è risultata significativamente inferiore (20-25%) in regime di agricoltura biologica.
- In risposta alla dose di N sono stati osservati incrementi di produzione fino a 150 kg/ha di N mentre nessuna differenza significativa è stata registrata tra 150 e 200 kg/ha di N.
- Interazioni significative sono state osservate tra tutti i fattori allo studio. In particolare, la positiva risposta produttiva della scarola al terreno argilloso e all'aumento della dose di N è risultata più marcata in regime di agricoltura convenzionale, confermando che le piante di scarola, come la maggior parte degli ortaggi da foglia a ciclo breve, sono in grado di avvantaggiarsi dell'incremento di N nel terreno quando questo elemento proviene da concimi minerali.
- Alla raccolta il contenuto fogliare di N variava tra 3,5 e 4,5% (su peso secco), con un valore medio di 4,0 %. Quindi, considerando un HI del 98% e un contenuto fogliare di sostanza secca del 7%, le asportazioni sono risultate pari a 114 kg N/ha.
- Il contenuto fogliare di nitrati alla raccolta oscillava tra 350 e 750 mg/kg p.f.. Questi valori sono sempre risultati ben inferiori dei limiti imposti Reg. C.E. 1258/2011 per altri ortaggi da foglia (es. lattuga). Quindi, la scarola non presenta particolari rischi dal punto di vista del contenuto di nitrati nel prodotto messo in commercio.

I coltivatori distribuiscono da 80 a 150 kg/ha di N in funzione dell'andamento pluviometrico della stagione. Eventualmente P e K vengono distribuiti in pre-trapianto. Il piano di concimazione azotata normalmente seguito dai coltivatori prevede un intervento in pre-trapianto con fertilizzanti ternari e 2-3 interventi in copertura con nitrato ammonico e/o nitrato di calcio, in funzione dell'andamento pluviometrico. Il nitrato di calcio, negli ambienti meridionali, è spesso utilizzato per la prima o l'ultima concimazione poiché la maggiore disponibilità di Ca nelle fasi iniziali della coltura contribuisce alla formazione delle pareti cellulari durante la crescita della pianta e nelle fasi finali della coltura può migliorare le caratteristiche qualitative e la conservazione post-raccolta del prodotto finale.

Protocolli per la concimazione azotata

Il protocollo tiene conto delle pratiche adottate comunemente dalle aziende della Piana del Sele e dei risultati delle prove sperimentali condotte dall'Università di Napoli Federico II (Box 7.3) e prevede il calcolo del quantitativo totale (dose) di N da distribuire in pre-semina e/o in copertura per la concimazione di arricchimento (per ripristinare eventualmente nel terreno la soglia di sufficienza di N_{TOT} o N_{MIN}) e di mantenimento (per compensare le perdite di N legate alle asportazioni e alla lisciviazione). Il calcolo richiede i dati seguenti:

- analisi del terreno (tessitura, N_{TOT} o N_{MIN} , C/N, contenuto di sostanza organica, ecc.);
- profondità radicale utile (per gli ortaggi da foglia generalmente 0.30 m);
- precessione colturale e concimazioni organiche precedenti la semina;
- dati cronologici della coltura (epoca impianto, raccolta, etc.);
- dati meteo;
- asportazioni di N della coltura (produzione di sostanza secca e contenuto di N su peso secco dei diversi organi della pianta).

Per la concimazione di arricchimento, inoltre, sono stati considerati sufficienti valori di contenuto di N totale (N_{TOT}) nel terreno pari a 1,2 e 1,6‰ in peso (corrispondenti a 1,2 e 1,6 g/kg di terreno) rispettivamente per un terreno franco e per un terreno argilloso.

I protocolli ottenuti per i diversi scenari sono illustrati nella Tab. 7.2.

Distribuzione dell'azoto

In generale, gli interventi di concimazione azotata variano da 1 a 3 e tendono ad aumentare all'aumentare della dose di N e della lunghezza del ciclo colturale e al diminuire del livello iniziale di N nel terreno (Tab. 7.3). La distribuzione dei concimi azotati in scarola, generalmente, prevede il frazionamento della dose totale di N in almeno tre interventi: al trapianto, a $\frac{1}{3}$ e a $\frac{2}{3}$ del ciclo colturale. Ad esempio, considerando di dover apportare 85 kg/ha e tenendo presente che la prima dose di N può essere anche leggermente ridotta rispetto alle altre due, almeno 25 kg/ha andrebbero apportati al trapianto, 30 kg/ha a un terzo del ciclo colturale e 30 kg/ha a due terzi del ciclo. Naturalmente, nel caso in cui si applichi la fertirrigazione, o comunque se le condizioni pedoclimatiche lo consentono, il numero di interventi può aumentare teoricamente senza limite e possono essere distribuiti in copertura anche parte del P e del K. Tuttavia, per esigenze operative, il quantitativo di N apportato

difficilmente può essere sotto i 25-30 kg/ha.

Ulteriori indicazioni riguardanti la concimazione di copertura sono le seguenti:

- Nel caso di un'elevata piovosità nelle prime settimane dopo il trapianto;
- i protocolli A e B sono sostituiti dal protocollo C in tutti gli scenari considerati;
- Nel caso di una piovosità molto scarsa nelle prime settimane dopo il trapianto:
- il protocollo C è sostituito dal protocollo A, in tutti gli scenari;
- evitare un intervento in copertura quando nei 3-4 giorni successivi alla data fissata sono previste piogge con un valore complessivo delle precipitazioni superiore a 15-20 mm

Tabella 7.2. Dose di azoto (kg/ha) da distribuire a colture di scarola da consumo fresco realizzate nella Piana del Sele (ciclo precoce di 70 gg o ciclo tardivo di 150 gg) in diverse condizioni pedologiche (terreno franco-sabbioso o argilloso, scarso o ben dotato) in funzione delle produzioni previste e della precessione colturale. I valori sono quelli calcolati con il software CAL-FERT, con i seguenti parametri: N organico 0,8 o 1,2 g/kg, rapporto sostanza organica C/N=10; coltura precedente pomodoro da industria (resa 90 t/ha) o mais da granella (6,5 t/ha), con interrimento dei residui. In tutti gli scenari è stata considerata una concimazione organica con letame bovino 35 t/ha effettuata nell'autunno dell'anno precedente al trapianto.

Resa indivia (t/ha)	Terreni poco dotati (N_{MIN}= 5 mg/kg, Norg= 0,8 g/kg, ciclo precoce¹)			
	Terreno franco-sabbioso (70% S; 10% A)		Terreno argilloso (40% S; 40% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
40	164	210	159	209
50	191	237	186	236
Resa indivia (t/ha)	Terreni ben dotati (N_{MIN}= 30 mg/kg, Norg= 1,2 g/kg, ciclo precoce¹)			
	Terreno franco-sabbioso (70% S; 10% A)		Terreno argilloso (40% S; 40% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
40	67	113	67	117
50	97	140	97	145
Resa indivia (t/ha)	Terreni poco dotati (N_{MIN}= 5 mg/kg, Norg= 0,8 g/kg, ciclo tardivo²)			
	Terreno franco-sabbioso (70% S; 10% A)		Terreno argilloso (40% S; 40% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
40	166	216	166	202
50	193	243	193	230
Resa indivia (t/ha)	Terreni ben dotati (N_{MIN}= 30 mg/kg, Norg= 1,2 g/kg, ciclo tardivo²)			
	Terreno franco-sabbioso (70% S; 10% A)		Terreno argilloso (40% S; 40% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
40	78	128	78	116
50	105	155	105	143

¹ trapianto: 1 settembre-raccolta 10 novembre; ² trapianto: 1 ottobre-raccolta 28 febbraio.

Scelta dei fertilizzanti

Nel caso della concimazione azotata, assume notevole importanza il tipo di forma di azotata distribuita in funzione del ciclo della coltura. La forma nitrica, facilmente dilavabile perché non trattenuta dal potere adsorbente del terreno dovrebbe essere utilizzabile il meno possibile soprattutto nella fase di pre-trapianto e trapianto quando lo scarso sviluppo delle piante non ne permetterebbe il pieno sfruttamento. La forma ammoniacale è quindi preferibile in pre-trapianto e nei primi stadi di sviluppo delle piante oppure laddove è possibile effettuare nella fase di pre-trapianto letamazioni e sovesci che, oltre ad apportare N e P, contribuiscono al miglioramento della struttura del terreno. Eventualmente P e K (da analisi del terreno) vanno distribuiti in pre-trapianto.

Tabella 7.3. Protocolli per il frazionamento della dose di N da distribuire per la concimazione di mantenimento dello scarola da consumo fresco coltivata nella Piana del Sele (Salerno). Tra i protocolli è stato incluso quello normalmente usato dai coltivatori in zona. Per i diversi protocolli sono indicati le condizioni di applicazione (scenari) definite in base alla dose di N da distribuire, alla durata del ciclo colturale e al contenuto iniziale di N nel terreno.

Protocollo	Scenari
A (1 distribuzione)	Dose <40 kg/ha
B (2 distribuzioni)	Dose 40-80 kg/ha; ciclo breve
C (3 distribuzioni)	Dose >80 kg/ha; ciclo lungo

7.4. INDIVIA IN PUGLIA¹⁷

La Puglia detiene il primato in Italia per la coltivazione in pien'aria di indivia e scarola (censite dall'Istat come unica categoria di prodotto), con 3.120 ha pari al 32,6% della superficie nazionale (Istat, 2010). Circa un terzo (1.170 ha) è concentrato nella provincia di Foggia. Un altro terzo della superficie censita nella regione interessa la provincia di Bari, in cui la coltivazione delle 'insalate', indivia inclusa, è concentrata sul litorale del Sud barese (nei comuni di Monopoli, Polignano, Mola di Bari). Per le caratteristiche dell'area geografica e per il collocamento della coltura nell'ordinamento colturale si rimanda a quanto descritto per la lattuga in Puglia (Cap. 6). La rimanente superficie è suddivisa tra le altre province pugliesi, soprattutto quella di Barletta-Andria-Trani (450 ha) e quella di Taranto (300 ha).

La produzione pugliese si caratterizza per essere realizzata quasi esclusivamente in pien'aria nel ciclo autunno-primaverile, in cui si ottengono le migliori produzioni dal punto di vista qualitativo, per le ottimali condizioni termiche. Indivia e scarola sono coltivate al pari

¹⁷ P. Santamaria e M. Gonnella

della lattuga nell'areale barese, mentre predominano nel Tavoliere, a causa delle basse temperature invernali, essendo più resistenti della lattuga al rigore invernale. La produzione si attesta intorno a 19 t/ha, con variazioni minime tra le aree della regione (Istat, 2010).

La tecnica colturale adottata per l'indivia nello specifico sistema colturale ricalca abbastanza fedelmente i caratteri di quella già descritta per la lattuga in Puglia, a cui si rimanda (Cap. 6). La densità di piante corrisponde a quella minore tra quelle indicate per la lattuga, 7-8 piante/m², date le maggiori dimensioni delle piante di indivia, che inoltre crescono aderenti al terreno, con portamento prostrato. Un'altra differenza tra le indivie e la lattuga sta nella maggiore resistenza alle avversità biotiche e abiotiche delle prime rispetto alla lattuga: in particolare, le indivie sono più resistenti alle basse temperature e meno suscettibili agli attacchi di *Sclerotinia*.

Anche la raccolta e la destinazione del prodotto hanno molto in comune con quanto detto per la lattuga. Rispetto alla lattuga, per l'indivia è ridotta la possibilità di innovazione mirata alla creazione di nuove tipologie di prodotto, mentre si investe nel miglioramento delle cultivar per singoli caratteri morfo-fisiologici (lunghezza del picciolo rispetto alla lamina, consistenza e *shelf life* delle foglie, capacità di autoimbianchimento), oltre al miglioramento genetico relativo alle resistenze alle avversità biotiche. In passato l'imbianchimento delle piante di indivia e scarola si otteneva con la chiusura del cespo, in prossimità della maturazione, con spago, elastico o incartando la pianta dalla base. Oggi si utilizzano cultivar autoimbiancanti coltivate a maggiore densità in modo da favorire la chiusura dei cespi.

Il prodotto raccolto è destinato al mercato fresco del Nord Italia e Nord Europa; solo una piccola parte è utilizzata nella produzione di insalate imbustate di IV gamma, colmando le richieste degli stabilimenti campani quando l'offerta sul territorio nazionale è insufficiente.



Indivia in pieno campo nel litorale Sud-barese.

Nutrizione e concimazione azotata

Le asportazioni di N, P e K di scarola e indivia sono simili a quelle riportate per la lattuga e valgono le stesse considerazioni in fatto di risvolti sanitari e ambientali e di tecnica colturale, poiché il ciclo colturale delle due specie è autunno-primaverile come per la lattuga. Le dosi considerate ottimali sono pari a 120, 100 e 150 kg/ha di N, P₂O₅ e K₂O, rispettivamente.

Nella sperimentazione condotta su indivia nell'ambito del progetto AZORT (Box 7.4), in cui sono state applicate dosi di N comprese tra 80 e 120 kg/ha, oltre al controllo non concimato, sono state rilevate produzioni nettamente superiori a quelle riportate dalla statistica ufficiale e intorno a 40-50 t/ha, anche in pien'aria. La dose minore (80 kg/ha) ha consentito di raggiungere gli stessi risultati produttivi della dose considerata ottimale (120 kg/ha) nell'areale barese. L'impiego di fertilizzanti azotati a rilascio controllato di diverso tipo non ha consentito di migliorare la risposta in termini di produzione e qualità sia in coltura protetta che in pieno campo.

Box 7.4. Principali risultati della sperimentazione AZORT su scarola in Puglia

- La produzione è risultata compresa tra 45 e 58 t/ha.
- Il contenuto di NO₃⁻ nei cespi di indivia è stato in media pari a 850 mg/kg p.f.: il valore massimo è stato pari a 1.000 mg/kg p.f. in pien'aria e 1.500 mg/kg p.f. in coltura protetta, decisamente inferiori ai limiti stabiliti per la lattuga dal Reg. CEE n. 1258/2011.
- Nelle foglie esterne (porzione verde) il contenuto di NO₃⁻ è risultato più che doppio rispetto alle foglie interne (800 vs 380 mg/kg p.f.).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2011. Le insalate. Collana Coltura&Cultura, ideata e coordinata da R. Angelini, Coordinamento scientifico di M.L. Gullino, Bayer CropScience, Ed. Script, Bologna, 624 p.
- Bergmann, W., 1992. Nutritional disorder of plants. Development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, and New York. 741 p.
- Bonasia, A., Gonnella, M., Santamaria, P., 2002. Nutrizione azotata e contenuto di nitrati degli ortaggi. Colture protette 31 (Supplemento al n. 12), 20-23.
- Chen, B.M., Wang, Z.H., Li, S.X., Wang, G.X., Song, H.X., Xi-Na, W., 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. Plant Sci. 167, 635-643.
- ĆustiĆ, M., HorvatiĆ, M., Butorac, A., 2002. "Effects of nitrogen fertilization upon the content of essential amino acids in head chicory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*)" Sci.

- Hortic. 92, 205-215
- ĆustiĆ, M., Poliak, M., Toth, N., 2000. Effect of nitrogen nutrition upon the quality and yield of head cichory (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*)” Acta Hort., 533:401-410.
- De Pascale, S., Barbieri, G., 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. Sci. Hortic. 64 (3), 145-157.
- De Pascale, S., Caputo, R., Maggio, A., 2012. Effects of Soil Type and Nitrogen Fertilization Rate on the Nutritional Value of Organically and Conventionally Grown Endive. Proc. XXVIIIth IHC – IS on Organic Horticulture: Productivity and Sustainability Eds.: I. Mourão and U. Aksoy Acta Hort. 933, 585-590.
- Del Zan, F., 1990. L’accumulo dei nitrati negli ortaggi: rischi per il consumatore e mezzi di reversione. L’Informatore Agrario 31, 26-32.
- Dellacecca, V., Patrino, A., 1990. Effetti di dosi crescenti di azoto sulla produzione e sul contenuto in nitrati della lattuga a cappuccio (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.). Riv. Agron., 2/3 167-173.
- Elia, A., Santamaria, P., 1997. Producing nitrate free endive heads: effect of nitrogen form on growth, yield and ion composition of endive. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 122, 140-145.
- Elia, A., Santamaria P., Gonnella, M., Izzo, G., 1997. Effects of two N levels and two $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios endive (*Chicorium endivia* L. var. *crispum* Hegi). II. Accumulation of the major inorganic ions. Adv. Hort. Sci. 11, 47-53.
- Elia, A., Gonnella, G., Santamaria, P., Serio, F., 1999. Growing nitrate free endive head in soilless systems. Acta Hortic. 481, 267-271.
- Gonnella, M., Serio, F., Santamaria, P., 2002. Fattori genetici ed ambientali e contenuto di nitrato negli ortaggi. Colture Protette 31 (Supplemento al n.12), 14-19.
- Graifenberg, A., Barsanti, L., Botrini, L., Temperini, O., 1993. La problematica nitrati. L’Informatore agrario 6, 43-48.
- Hamouz, K., Lachman, J., Vokal, B., Pivec, V., 1999. influence of environmental conditions and type of cultivation on the polyphenol and ascorbic acid content in potato tuber. Rostl. Vyr., 45: 292-298
- Hochmuth, G.J., 1992. Concepts practices for improving nitrogen management for vegetables. HortTechnology 2, 121-125.
- Llorach, R., Martinez-Sanchez, A., Tomas-Barberan, F., Gil, M.I, Ferres, F., 2008. Charaterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. Food Chem. 108, 1028-1038.
- Lucchin, M., Varotto, S., Barcaccia, G., Parini, P., 2008. Chicory and Endive. In: Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae and Cucurbitaceae, Springer (USA): 3-48.
- Massa, D., Incrocci, L., Pardossi, A., Cisternino, A. 2010. Piano di concimazione per le colture orticole. In: Riduzione dell'inquinamento delle acque dai nitrati provenienti dall'agricoltura (Ed. A. Masoni) Felici Editore, Pisa, pp. 317-336.
- Maynard, D.N., Barker, A.V., 1969. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94, 235-239.

- Maynard, D.N., Lorenz, O.A., 1979. Controlled-release fertilizers for horticultural crops. *Hortic. Rev.* 1, 79-140.
- McCall, D., Willumsen J., 1998. Effect of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73, 698-703.
- Pimpini, F., 1978. I radicchi veneti: tipi, tecniche colturali e miglioramento genetico” *L’Informatore Agrario* 26, PP.
- Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J.-F., Lesaint, C., Jolivet, E., 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol.* 25, 805-812.
- Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86, 10-17.
- Santamaria, P., Elia, A., 2001. Concimazione azotata ed accumulo di nitrati negli ortaggi. *Terra Vita*, 42 (Supplemento al n.11), 59-62.
- Santamaria, P., Elia, A., Gonnella, M., 1997. Changes in nitrate accumulation and growth of endive plants during light period as affected by nitrogen level and form. *J. Plant Nutr.* 20, 1255-1266.
- Santamaria, P., Elia, A., Gonnella, M., Parente, A., Serio, F., 2001. Ways of reducing rocket salad nitrate content. *Acta Hortic.* 548, 529-537.
- Santamaria, P., Gonnella, M., Valenzano, V., 2002. Livelli di nitrato e commercializzazione degli ortaggi. *Colture Protette* 31 (Supplemento al n. 12), 7-13.
- Tesi, R. 2010. *Orticoltura Mediterranea Sostenibile*. Pàtron Editore, Bologna (Italia).
- Tesi, R., Lenzi, A., 2005. Nutrizione azotata per un’orticoltura sostenibile. *Italus Hortus* 12(1), 57-73.
- Vallone, S., Maggio, A., De Pascale, S., 2008. Improving vegetable yield and quality standards in organic farming by defining functional cultivation protocols. “First Symposium on Horticulture in Europe”, 17-20 Febbraio 2008, Vienna (Austria).
- Wang, Z.H., Li, S.X., 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *J. Plant Nutr.* 27, 539-556.

Capitolo 8 – ORTAGGI PER LA IV GAMMA

Antonio Ferrante

8.1. INTRODUZIONE

Gli ortaggi sono classificati, in funzione del tipo di lavorazione subita in: prodotti di I gamma (non lavorati), di II gamma (stabilizzati, appertizzati), di III gamma (surgelati), di IV gamma (semilavorati pronti all'uso) e di V gamma (precotti, grigliati, scottati al vapore). Negli ultimi anni si è osservato un aumento del consumo degli ortaggi di quarta gamma in seguito al cambiamento dello stile di vita e delle abitudini alimentari dei consumatori. Inoltre, il consumatore è sempre più attento al consumo di prodotti con effetto salutistico (Bracco *et al.*, 2007).

L'aumento della domanda di questi prodotti ha determinato una forte innovazione nella produzione orticola. In particolare, la produzione di ortaggi da foglia destinati alla quarta gamma è in continuo aumento. L'aumento dell'offerta riduce, tuttavia, il prezzo di mercato rendendo il settore sempre più competitivo (Baldi e Casati, 2009) tanto da imporre alle aziende ad adattarsi al mercato, ottimizzando e innovando le tecniche colturali puntando sulla qualità del prodotto. In Italia, le aziende di produzione e le industrie di valorizzazione dei prodotti orticoli di quarta gamma sono localizzate principalmente nella provincia di Bergamo e Brescia, ma negli ultimi anni, al fine di garantire una produzione costante e di qualità, sono nate aziende di conferimento anche al Sud Italia, principalmente in Campania e Puglia. In queste due regioni sorgono anche industrie di valorizzazione che riforniscono generalmente il mercato del centro-sud, ma spesso nei periodi invernali inviano i loro prodotti anche alle industrie del Nord.

I prodotti di quarta gamma sono costituiti per due terzi da ortaggi di prima gamma (insalate adulte) e per un terzo da ortaggi da foglia da taglio (*baby leaf*), che sono raccolti in uno stadio di sviluppo molto precoce quando hanno raggiunto i 13-15 cm di altezza e hanno 6-7 foglie.

La valorizzazione o trasformazione degli ortaggi di quarta gamma consiste nella pulizia della materia prima da corpi estranei, mondatura delle parti danneggiate più esterne, lavaggio, taglio, confezionamento e trasporto refrigerato ai punti vendita. Questi ortaggi in quanto privi di scarti e immediatamente utilizzabili (pronti al consumo) richiedono un elevato numero di servizi. La loro conservazione deve essere effettuata tentando di mantenerne inalterate le qualità nutrizionali, organolettiche ed estetiche, ovvero la freschezza (Colelli e Elia, 2009).

Subito dopo il confezionamento il prodotto dovrebbe essere conservato e trasportato a una temperatura costante di 4-5 °C fino alla vendita (Fig. 8.1).

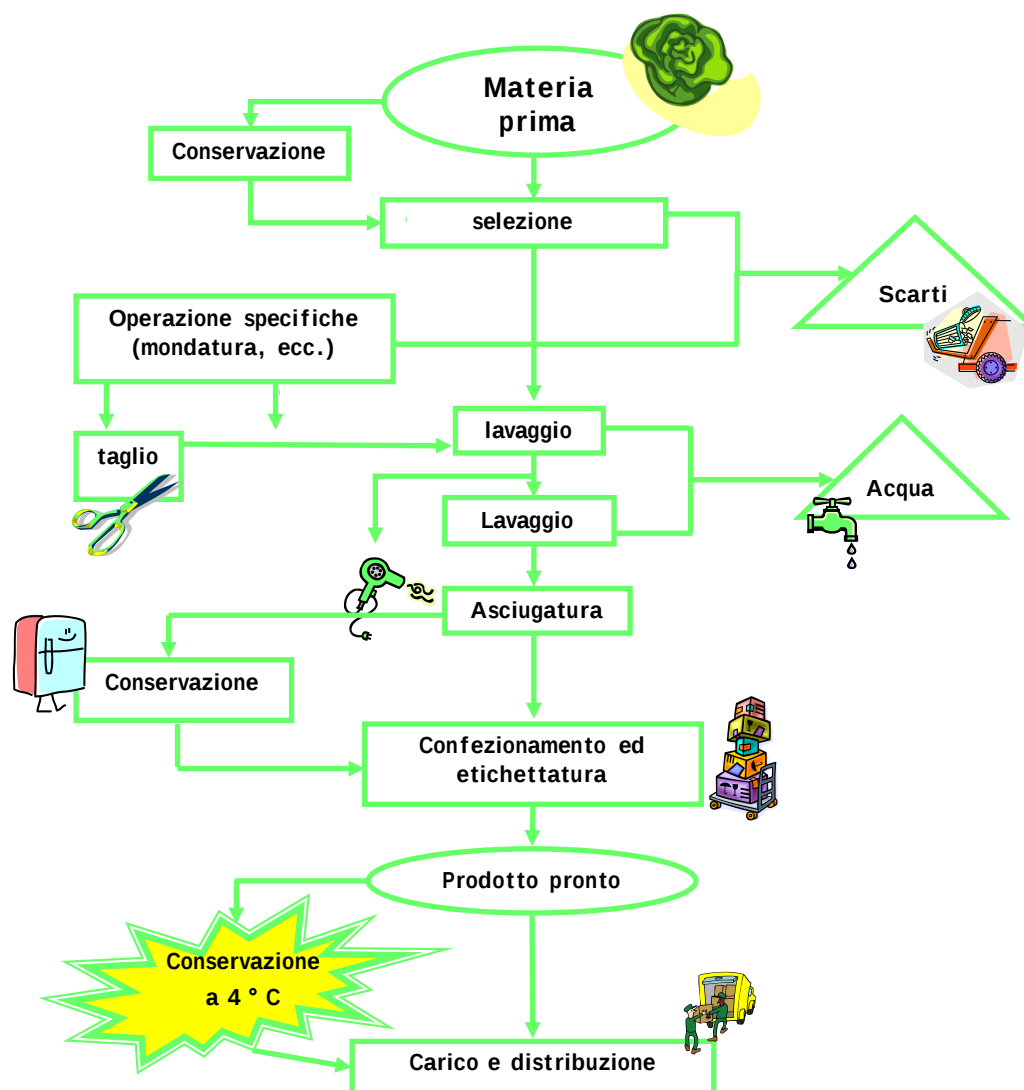


Figura 8.1. Diagramma di lavoro di un ortaggio destinato alla filiera della quarta gamma.

La coltivazione degli ortaggi da foglia e da taglio è generalmente effettuata in serra-tunnel con copertura in plastica della larghezza di 8-10 m e lunghi mediamente 50-100 m con un'altezza di 4 m. All'interno dei tunnel gli ortaggi *baby leaf* sono seminati a file. Le specie comunemente utilizzate sono la lattuga da taglio (*Lactuca sativa* L. var. *acephala*), rucola selvatica (*Diplotaxis tenuifolia* L.), spinacio (*Spinacia oleracea* L.), valerianella (*Valerianella olitoria* L.), cicorino (*Cichorium intybus* L.) e altre specie minori anche orientali.

Le superfici e la quantità da produrre per ciascuna specie è definita con l'industria di trasformazione. Le quote per ciascuna specie sono attribuite anche sulla base dell'esperienza dell'agricoltore e della capacità produttiva dell'azienda in termini quali-quantitativa.

Attualmente la produzione in Lombardia è effettuata esclusivamente su terreno, mentre in altre regioni del Nord-Ovest si sono sviluppate diverse aziende che producono in idroponica utilizzando il sistema floating.



Tunnel per colture da foglia (baby leaf). Macchina operatrice per la distribuzione di fertilizzante in prove sperimentali svolte nell'ambito del progetto AZORT.

La durata dei cicli colturali può variare da 20 a 90 giorni, in funzione della stagione dell'anno. Le asportazioni per ciclo colturale sono molto modeste considerando la produzione della biomassa fresca raccolta (Tab. 8.1). In genere, la concimazione con P e K è effettuata su base annuale, mentre quella azotata è effettuata per ogni ciclo. In generale, sullo stesso terreno possono essere effettuati dai 6-7 cicli all'anno.

Tabella 8.1. Asportazioni unitarie (kg/t) di elementi nutritivi delle principali specie utilizzate per la produzione di baby leaf per la quarta gamma.

Specie	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Lattughino	2,4-3,2	0,7-1,6	4,2-7,0	0,9-1,6	0,3-2,0
Rucola	3,5-6,9	1,2-1,5	5,8-6,0	1,0-3,6	0,4-1,3
Spinacio	3,4-4,2	1,5-1,6	7,6-9,3	0,6-1,3	0,8-1,0
Valerianella	4,0-5,2	1,5-2,5	6,1-7,0	1,5-2,6	0,7-1,3

La quarta gamma in Lombardia

La coltivazione delle colture di quarta gamma in Lombardia sono passate, nell'ultimo decennio, da colture marginali a primarie con notevole interesse industriale. Nelle province di Bergamo e Brescia dove può essere localizzato il nucleo di origine e diffusione delle colture *baby leaf* in Italia. Circa il 38 % della produzione in serra di queste province è destinata alla filiera della quarta gamma (Baldi e Casati, 2008).

Numerose aziende agricole con indirizzo cerealicolo-zootecnico si sono convertite all'orticoltura da quarta gamma. La variazione dell'indirizzo produttivo ha determinato una rivitalizzazione dell'agricoltura Lombarda e in modo particolare dell'orticoltura tradizionale. L'effetto dell'innovazione ha avuto un effetto diretto anche ai settori collaterali legati alla produzione, come da esempio la produzione di nuove tipologie di macchine agricole, delle strutture produttive e degli impianti di gestione della fertilizzazione e dell'irrigazione. L'effetto è stato dirompente anche sul territorio, con contrazione dei campi di mais e l'aumento delle colture protette, in modo particolare tunnel. L'aumento della superficie orticola ha anche portato a un mutamento del territorio e molti comuni, soprattutto i pionieri, stanno riducendo fortemente i permessi per la costruzione di nuovi tunnel.

Il forte sviluppo in Lombardia è dovuto principalmente alla costruzione dei primi centri di lavorazione/valorizzazione dei prodotti di quarta gamma. Queste aziende non sono semplici centri di raccolta e lavorazione, ma con il personale tecnico (agronomi) hanno iniziato a indirizzare e a gestire la coltivazione presso le aziende. Il conferimento del prodotto deve essere garantito tutto l'anno per cui la programmazione deve essere effettuata in modo puntuale su base annua.

Negli ultimi anni l'aumento delle aziende orticole di quarta gamma ha incrementato la competizione tra le aziende. Le industrie hanno esteso le aree di produzione delocalizzando soprattutto in inverno la coltivazione al Sud. Tuttavia, diverse strategie si stanno sviluppando per migliorare la coltivazione in Lombardia. In particolare, si stanno selezionando varietà estive e invernali per le diverse specie da quarta gamma (Salva e Bignami, 2012).

8.2. ASPETTI TECNICO-AGRONOMICI

Materiale di propagazione

Non esistono delle sementi selezionate per la coltivazione di ortaggi di quarta gamma da taglio, il volume commerciale è ancora modesto per essere oggetto di miglioramento genetico da parte delle ditte sementiere. Attualmente molto del germoplasma disponibile è quello delle insalate adulte adattato per la produzione di ortaggi *baby leaf*.

Scarse sono le informazioni circa alle esigenze termiche ottimali nella fase di crescita, le poche informazioni sono spesso limitate alla sola germinazione. La produzione avviene durante tutto l'anno e il settore soffre della carenza di cultivar adattate per le stagioni invernali ed estive. Questo problema è particolarmente sentito per lo spinacio e la rucola.

Ciclo colturale

Gli ortaggi da foglia e da taglio hanno un periodo colturale breve, variabile da 20 a 40 giorni a secondo della stagione. Ogni anno, nello stesso tunnel, possono essere effettuati 6-7 cicli colturali con raccolte variabili in numero da 9 a 13 in relazione alla specie e al numero dei ritagli. Il rapido susseguirsi delle colture impone lavorazioni frequenti che portano il terreno alla perdita della struttura. Pertanto è molto importante un regolare apporto di sostanza organica per il mantenimento delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo. Le colture

destinate alla produzione di *baby leaf* sono raccolte quando sono nella fase di crescita attiva della pianta. In questo stadio, la fisiologia della pianta non è ancora ben caratterizzata. La capacità di assorbimento e di incorporazione degli elementi nutritivi non è ancora ben nota, così come l'ecofisiologia delle piante nelle diverse stagioni.

Uniformità della coltura

Gli impianti di irrigazione utilizzati spesso hanno una distribuzione non omogenea creando zone eccessivamente umide e zone in carenza idrica. In genere, le aree che sono meno irrigate sono localizzate ai bordi del tunnel. Questo problema incide moltissimo sulla crescita e sull'uniformità della coltura, inoltre le zone in carenza idrica hanno anche un più alto contenuto in nitrati.

Problemi fitosanitari

Le aziende che coltivano ortaggi *baby leaf* non seguono un vero e proprio avvicendamento colturale e spesso la programmazione è monocolturale con ingenti problemi fitosanitari. I brevi cicli spesso non permettono trattamenti curativi a causa degli intervalli di sicurezza dei prodotti fitosanitari e bisogna intervenire preventivamente. Normalmente si interviene con prodotti geodisinfestanti almeno una volta all'anno.

Sostanza organica

Una buona dotazione di sostanza organica (1,5-3%) è essenziale per il mantenimento della fertilità del terreno. Tuttavia non bisogna esagerare perché la sua mineralizzazione, soprattutto nel periodo estivo porta al rilascio di una elevata quantità di elementi nutritivi e in particolare di nitrati che sono assorbiti e accumulati nelle foglie delle insalate.

Fertilizzazione

Essendo colture a breve o brevissimo ciclo colturale le esigenze nutrizionali sono molto limitate. Il piano di fertilizzazione deve essere opportunamente definito considerando le asportazioni delle diverse specie (Penati *et al.*, 2009) e la disponibilità nel terreno determinata mediante periodiche analisi chimiche. In genere, le asportazioni sono calcolate considerando anche l'indice di raccolta variabile da 0,5 a 0,7 ad eccezione della valerianella che viene raccolta interamente ed ha quindi un indice di raccolta pari a 1. Dalle diverse analisi chimiche del terreno effettuate in alcune aziende della provincia di Bergamo è emerso una elevata dotazione di P, K, Ca e Mg. Spesso è riscontrabile anche una elevata concentrazione di N nitrico e ammoniacale.

Una eccessiva fertilizzazione porta ad un aumento della conducibilità elettrica e nei casi gravi a stress osmotico alle colture, ma anche inquinamento ambientale. L'elevata concimazione azotata e soprattutto l'apporto di N nitrico, non essendo trattenuto dai colloidali del terreno, può determinare l'inquinamento delle falde freatiche superficiali per lisciviazione. Inoltre, una errata gestione della fertilizzazione può portare, nel medio periodo, all'innalzamento del pH del terreno.

Accumulo dei nitrati nelle foglie

Il nitrato è assorbito dalle radici dove può essere immediatamente ridotto o traslocato nelle foglie. Nelle foglie il nitrato può essere accumulato nei vacuoli o ridotto a nitrito e successivamente organicato e incorporato negli amminoacidi. Nelle foglie può anche svolgere funzione di osmoregolazione soprattutto in carenza di zuccheri, nel periodo con scarsa illuminazione. La riduzione del nitrato avviene ad opera della nitrato reductasi che ha un andamento circadiano e ha bisogno di elettroni derivanti dal processo fotosintetico. Questo significa che in condizioni di fotoperiodi brevi e/o in ambienti con scarsa intensità di luce la riduzione del nitrato è rallentata.

In condizioni ambientali sfavorevoli, il contenuto in nitrati è molto alto nelle foglie e può superare i limiti di legge per la commercializzazione. Questi limiti sono stati imposti dall'U.E. per ridurre l'apporto di nitrato nella dieta umana. Questa decisione è stata presa in seguito ai risultati ottenuti da studi epidemiologici che hanno dimostrato un effetto cancerogeno di composti derivati dalle nitrosammine (reazioni del nitrito con i prodotti del catabolismo proteico). L'eccesso del nitrato può determinare la metaemoglobinemia nei bambini causando la sindrome del “*baby blue*” dovuta all'incapacità della metaemoglobina a trasportare ossigeno. Siccome i nitrati sono presenti nell'acqua potabile ed è indispensabile per la conservazione della carne e dei salumi è stato imposto per ogni ortaggio un limite in funzione della sua capacità di accumulo. L'Italia ha recepito il regolamento per la lattuga e lo spinacio. L'ultimo regolamento in materia, il n° 1258 del 2011 tiene conto del periodo stagionale e del luogo di coltivazione.

Negli ultimi anni, alcuni studiosi hanno affermato che in realtà il nitrato nello stomaco porta alla formazione di monossido di azoto (NO) che svolge un'azione di protezione contro alcuni patogeni per l'uomo. Il ruolo dei nitrati nell'alimentazione umana è ambiguo, tuttavia esistono dei limiti imposti dall'UE che dobbiamo rispettare per la libera commercializzazione.

I limiti attualmente in vigore non destano preoccupazione, perché con l'applicazione delle buone pratiche agricole sono facilmente ottenibili. Solo gravi errori di fertilizzazione o condizioni ambientali particolarmente avverse possono determinare un eccessivo accumulo nelle colture.

Tuttavia, recentemente alcuni supermercati hanno utilizzato il contenuto di nitrato dei propri prodotti per selezionare i fornitori e alcuni di essi puntano alla commercializzazione di ortaggi con zero nitrati, come parametro di qualità anche se l'assenza di nitrati nelle foglie (<500 mg/kg p.f.) è uno stadio transitorio difficilmente ottenibile nella coltivazione su terreno.

Soluzioni ai problemi tecnico-agronomici

Il ruolo dell'agronomo è fondamentale per una corretta gestione delle aziende di quarta gamma. Prima di tutto deve conoscere le caratteristiche del terreno e del clima delle aziende in cui opera. Dalla valutazione delle analisi del terreno si procede a eventuali interventi di correzione, prima dell'organizzazione produttiva. Molto importante è il controllo del pH e della conducibilità elettrica che agiscono direttamente sulla biodisponibilità degli elementi

nutritivi e sull'assorbimento radicale. Molto importante è la consultazione bibliografica per reperire informazioni tecniche necessarie per la scelta della semente da utilizzare anche in funzione dell'ambiente di coltivazione.

Bisogna considerare che si tratta di piantine in fase di crescita attiva, pertanto il comportamento fisiologico potrebbe essere completamente diverso da quelle adulte.

Generalmente una volta l'anno deve essere effettuata la disinfezione del terreno, per l'inattivazione delle infestanti e delle spore fungine. Nel caso si verificassero forti incidenze di malattie durante l'anno è necessario ripetere il trattamento. Queste applicazioni permettono di ridurre considerevolmente gli interventi fitosanitari durante la coltivazione.

Si consiglia di non effettuare concimazioni azotate o apportare quantità modeste di questo elemento nel primo ciclo dopo la disinfezione perché la morte della flora microbica rende disponibile una buona quantità di N.

Molto importante è la scelta o la sostituzione dell'impianto di irrigazione e verificarne la corretta funzionalità. Una buona irrigazione deve essere effettuata nella fase iniziale della coltura e ridurre gli interventi durante la coltivazione per evitare lo sviluppo di malattie fungine. Per ogni coltura è fondamentale determinare l'effettivo fabbisogno idrico a secondo della stagione, per razionalizzare l'uso dell'acqua. Ogni anno, dovrebbe essere effettuata l'analisi chimica dell'acqua per verificare l'idoneità, soprattutto se si utilizza acqua di pozzo.

Cruciale è la corretta preparazione di un piano di concimazione. Una razionale concimazione è fondamentale, sia per le rese sia per la riduzione dei costi di produzione. Un piano di concimazione deve essere opportunamente redatto considerando le asportazioni delle colture, la dotazione dei terreni e la fertilità derivante dai residui colturali. Gli apporti dovrebbero essere effettuati preferibilmente con concimi semplici, limitando il più possibile i binari e i ternari. Le piante non assorbono gli elementi nutritivi nello stesso rapporto con cui gli elementi sono presenti nel concime complesso. Pertanto l'uso di questi concimi possono determinare un accumulo nel terreno e portare anche a problemi di lisciviazione (es. nitrati) con notevoli ripercussioni ambientali. Infine, per il mantenimento del pH è buona norma utilizzare concimi a reazione acida dato che in queste aziende tende con il tempo ad innalzarsi.

La sostanza organica deve essere apportata annualmente per garantire il mantenimento della struttura e delle caratteristiche fisico-chimiche, ma nello stesso tempo bisogna evitare un eccessivo accumulo che nel periodo estivo può dare problemi di accumulo di nitrati nelle foglie a seguito della sua mineralizzazione. La sostanza organica deve essere apportata con letame maturo o meglio con concime organico contenente il 30-50 % di carbonio organico. La sostanza organica non stabilizzata è fonte di sementi infestanti e portatrice di patogeni per le piante e per l'uomo.

I prodotti fitosanitari disponibili e utilizzabili su queste colture devono essere verificati annualmente. Ogni anno sono immessi e revocati diversi prodotti dal commercio, pertanto è indispensabile l'aggiornamento tecnico. Si consiglia di consultare periodicamente le banche date dei fitofarmaci disponibili, come ad esempio la SIAN, disponibile sul sito del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. La scelta di questi prodotti deve essere effettuata in base

ai disciplinari di produzione, allo stadio colturale e all'intervallo di sicurezza.

Per ridurre l'accumulo dei nitrati nelle foglie bisogna razionalizzare la concimazione azotata e fornire solo il quantitativo di N necessario per soddisfare le asportazioni delle colture. Sostituire i teli di copertura quando hanno perso le proprietà ottiche iniziali e lavare periodicamente i tunnel per rimuovere polvere o residui di materiale ombreggiante (calce) utilizzata per limitare la radiazione luminosa alle colture durante il periodo estivo. Nei terreni con una elevata quantità di sostanza organica, durante l'estate, è consigliabile raccogliere il prodotto la sera.

8.3. COLTIVAZIONE IDROPONICA

Gli ortaggi da foglia e da taglio in idroponica sono generalmente coltivati utilizzando il sistema *floating system*. Il termine deriva dall'inglese *to float* che significa "galleggiare". In passato il *floating* è stato utilizzato per la produzione del tabacco e poi successivamente è risultato particolarmente adatto alla coltivazione di specie a taglia contenuta e a ciclo breve, come gli ortaggi da foglia e da radice; tra cui, orticole da cespo (lattughe, radicchi, ecc.), da taglio (lattughino, cicoria, valerianella, ecc.) da radice (ravanella, ecc.) ed aromatiche (basilico, erba cipollina, prezzemolo, menta, salvia, rucola, ecc.). Questa tecnica di coltivazione ha avuto molto successo per gli ortaggi da foglia destinati alla quarta gamma, perché fornisce ottimi risultati dal punto di vista quali-quantitativo (Gonnella *et al.*, 2004; Pardossi *et al.*, 2005; Diaz *et al.*, 2006; Podetta *et al.*, 2011).



Coltivazione idroponica (floating) di baby leaf in Lombardia.

Il sistema di coltivazione *floating* consiste in una vasca impermeabilizzata, posta fuori o scavata nel terreno ad altezza e profondità variabili (20-30 cm). La quantità di soluzione nutritiva contenuta è anch'essa variabile da 150 a 250 L/m² e richiede ossigenazione per contrastare il depauperamento dell'ossigeno dovuto alla respirazione radicale e alla

stagnazione. L'apporto di ossigeno può avvenire per semplice immissione di aria mediante compressore o miscelazione dell'aria con la soluzione nutritiva attraverso un sistema venturi oppure mediante gorgogliamento. La carenza di ossigeno condiziona fortemente la funzionalità delle radici che tendono ad annerire e perdere la loro funzionalità. La concentrazione ottimale oscilla da 6 a 7 mg/L e l'effetto ipossico sulla pianta inizia a manifestarsi quando l'ossigeno scende sotto i 3 mg/L. In alcune specie come la valerianella, l'effetto della riduzione di ossigeno determina una riduzione del nitrato nelle foglie. Questo effetto fisiologico è noto come respirazione del nitrato in condizioni di ipossia/anossia. Purtroppo, la riduzione del nitrato è associata ad un leggero aumento anche dei nitriti per cui è bene garantire la giusta ossigenazione (Ferrante *et al.*, 2005).

Nel sistema di coltivazione *floating* la semina è effettuata in pannelli di polistirolo con un substrato minimo, sufficiente per la sola germinazione dei semi. Il pannello ha la sola funzione di supporto per le piante ed è costituito da polistirolo ad alta densità. Ne esistono di due tipi: nei primi vengono ricavate delle fessure a sezione tronco-conica a distanza di 25-35 mm, larghe circa 5 mm nella parte superiore e 1-2 mm in quella inferiore che contengono modeste quantità di substrato su cui è disposto il seme; per la produzione di specie da cespo (lattughe) anziché fessurazioni lineari, i pannelli presentano gli alloggiamenti del cubetto di semina (Malorgio *et al.*, 1995). Per la coltivazione possono essere utilizzati anche i comuni contenitori alveolari normalmente impiegati nel vivaismo.

Le fessure vengono riempite con un substrato composto da perlite, vermiculite, torba bionda o miscugli degli stessi; questa operazione viene effettuata da una macchina che provvede anche a disporre il seme oltre che ad effettuare una prima irrigazione. Tuttavia, il substrato più idoneo è la perlite o una miscela di perlite e vermiculite. Prima della posa in vasca, i vassoi vengono posti in una cella climatica per favorire la germinazione e quando le plantule sono attecchite si trasferiscono in vasca. I pannelli non sono posti direttamente in vasca dopo la semina, perché si possono sviluppare le alghe e contrastare la normale crescita delle piante.



Cella di germinazione per insalate baby leaf. I pannelli sono incubati, al buio, alla temperatura ottimale di germinazione per pochi giorni, dopodiché sono trasferiti in serra.

Le soluzioni nutritive consigliate sono molteplici e possono essere ottimizzate per ciascuna specie. Per gli ortaggi da foglia in genere il fabbisogno idrico e minerale è soddisfatto da una soluzione nutritiva contenente le seguenti mM: 12 N-NO₃; 3,8 N-NH₄; 2,8 P; 8,4 K; 3,5 Ca; 1,4 Mg; 2 S; 0,04 Fe e micronutrienti (Alberici *et al.*, 2008). Per la lattuga da taglio questa soluzione può essere utilizzata per tre cicli colturali senza altre aggiunte di sali minerali. Il pH della soluzione nutritiva deve essere compreso tra 5,5 e 6,5, mentre la conducibilità elettrica è specie specifica.

Numerosi sono i vantaggi legati all'adozione del *floating system* per la produzione di insalate da taglio; innanzitutto i costi di realizzazione e di gestione dell'impianto sono contenuti, grazie anche alla limitata necessità di dispositivi automatici di controllo della soluzione nutritiva. Il sistema permette di accorciare sensibilmente i cicli colturali, in virtù della possibilità di riscaldamento della soluzione nutritiva; la totale mancanza di terreno comporta una maggiore pulizia dei prodotti, l'assenza di infestanti e di patogeni tellurici e, conseguentemente, i trattamenti fitosanitari risultano superflui. Si possono ridurre i contenuti di nitrati attraverso la sostituzione della soluzione nutritiva con acqua alcuni giorni prima della raccolta, oppure attraverso la riduzione della concentrazione di nitrati con l'aumento della frazione ammoniacale.

Il controllo della soluzione nutritiva permette di effettuare la cosiddetta bio-fortificazione con elementi minerali (es. ferro, iodio e selenio) o composti funzionali (es. omega-3, iodio) esaltando caratteristiche qualitative delle foglie.

Permette inoltre di aumentare la *shelf-life* per esempio inducendo stress salino alcuni giorni prima della raccolta. A questi si aggiungono gli aspetti positivi generici di tutti i metodi senza suolo, ovvero la possibilità di standardizzare molto le produzioni, rendendo inoltre agevole la meccanizzazione, razionalizzando l'organizzazione del lavoro, e permettendo un uso efficiente dei concimi e la riduzione dei consumi idrici.



Pannello di polistirolo con le radici delle piante durante la coltivazione idroponica in serra.



Bombole con l'ossigeno da immettere nelle vasche di coltivazione.

8.4. PROSPETTIVE FUTURE

La superficie coltivata ad ortaggi da foglia e da taglio è destinata ad aumentare. Contemporaneamente la competizione tra i produttori sarà più forte, stimolando le aziende ad innovarsi per poter essere competitive sul mercato. L'agronomo deve giocare un ruolo fondamentale nella valutazione dell'efficienza aziendale e nell'orientare l'ordinamento produttivo. Si dovranno abbassare i costi di produzione, ottimizzando la scelta dei mezzi tecnici, ma nel lungo periodo potrebbe non essere sufficiente. Pertanto devono essere effettuate scelte per l'innovazione di processo o di prodotto.

Tra l'innovazione di processo, l'introduzione della coltivazione idroponica permetterebbe di aumentare le rese e nel contempo di ottenere prodotti migliori da un punto di vista fitosanitario. Tuttavia, la conversione deve essere opportunamente valutata perché impone un rinnovo del parco macchine aziendale e delle modifiche agli impianti di trasformazione in quanto il prodotto è più sensibile agli stress di lavaggio ed essendo già pulito non richiede tutte le operazioni previste per gli ortaggi prodotti nel terreno.

L'innovazione di prodotto deve essere effettuata introducendo specie con un alto valore salutistico che apportano sostanze nutraceutiche come ad esempio acidi grassi polinsaturi omega 3 e 6, composti antiossidanti ecc. Questo obiettivo potrebbe essere raggiunto attraverso l'introduzione di alcune specie orientali da utilizzare nella misticanza o in purezza.

Una interessante prospettiva è l'introduzione di ortaggi biofortificati con alcuni elementi nutritivi presenti in tracce nell'ambiente come selenio e iodio, come già accennato nel precedente paragrafo.

Il selenio svolge importanti funzioni protettive per la nostra salute e la carenza di questo elemento può provocare varie malattie. Il fabbisogno di selenio nell'uomo varia da 20 a 100 µg, mediamente è di 55 µg. L'Italia è un paese in cui selenio nel suolo è presente in bassa quantità, pertanto l'apporto con gli alimenti di origine vegetale è piuttosto scarso. Lo iodio, invece, è un elemento incorporato negli ormoni tiroidei, necessari per la crescita nei giovani e il mantenimento del metabolismo negli adulti; nei bambini è necessario per l'accrescimento e lo sviluppo del sistema nervoso. Il fabbisogno giornaliero di iodio per una corretta dieta oscilla da 150 a 200 µg al giorno (INRAN, Roma), con una dose giornaliera consigliata di 150 µg al giorno. In alcune regioni con un'alimentazione a base di cibi a basso contenuto di iodio possono presentare problemi come l'ingrossamento delle ghiandole della tiroide, la formazione della gotta. Molto importante è l'apporto di iodio durante la fase di gestazione, che spesso in alcune diete può essere alla soglia consigliata che è di 200-300 µg al giorno. Nei paesi industrializzati l'uso del sale da cucina iodato ha ridotto l'incidenza di queste alterazioni fisiologiche. Nelle diete iposodiche, però, potrebbe essere utile apportare iodio attraverso altri cibi, come appunto gli ortaggi.

8.5. SINTESI DEI RISULTATI DELLE PROVE DEL PROGETTO AZORT

Nell'ambito del progetto AZORT sono state effettuate diverse prove sperimentali per studiare la risposta del lattughino alla diversa disponibilità azotata nel lattughino da taglio. La lattuga da taglio è principalmente coltivata per la produzione di *baby leaf* da destinare alla filiera della quarta gamma. La raccolta è effettuata allo stadio di 3-4 foglie quando la piantina ha raggiunto l'altezza di 10-13 cm. Il ciclo colturale ha una durata di 20-40 giorni a secondo della stagione e dall'andamento della temperatura. Le asportazioni sono molto limitate se confrontato con le insalate adulte. La dinamica di assorbimento degli elementi e del nitrato, in particolar modo, non è ancora ben studiata poiché il volume produttivo e commerciale è ancora in espansione. L'accumulo dei nitrati in lattuga raccolta in questo stadio di sviluppo è condizionato sia dall'ambiente di coltivazione sia dalla gestione della fertilizzazione. La fisiologia di queste piante non è ben nota, sicuramente le foglie non completamente espanse hanno una limitata attività fotosintetica, una ridotta efficienza del trasporto elettronico che condiziona anche il metabolismo dell'N. Per poter enucleare l'effetto della dose di N è necessario avere a disposizione un terreno o substrato con bassa sostanza organica e basso contenuto di elementi nutritivi. Per soddisfare questi requisiti è stato utilizzato terreno estratto da sotto un fabbricato dopo la sua demolizione.

Al fine di studiare l'accumulo del nitrato nelle foglie di lattughino coltivato sono state somministrate dosi crescenti di N (0, 50, 100 e 150 kg/ha) all'impianto e dopo due settimane dalla semina. La coltivazione è stata effettuata seguendo i disciplinari della Regione Lombardia. Le prove sono state condotte su lattuga da taglio (*Lactuca sativa* L. var. *acephala* tipo Batavia Rubia) seminata con una densità di semina con una densità di 222 semi/m². Le piantine sono state fertilizzate con nitrato di ammonio con titolo al 34% in modo da fornire una quantità di nitrato pari a 50, 100 e 150 kg/ha, il trattamento senza fertilizzazione è stato

utilizzato come controllo. Il terreno è stato analizzato all'inizio e alla fine delle prove per poter determinare la quota di nitrato rimanente nel terreno e quella assorbita dalle piante. I rilievi hanno riguardato la determinazione della produzione, l'analisi di crescita (area fogliare, peso fresco e secco) e il contenuto in nitrati.

La produzione e la crescita delle piante sono aumentate proporzionalmente alle dosi di N somministrate, raggiungendo il massimo alla dose di 100 kg/ha. La produzione massima è stata di 1,7 kg/ha alle dosi di 100 e 150 kg/ha. L'area fogliare, il peso e la lunghezza delle piante sono aumentati all'aumentare della dose di N. Il contenuto in nitrato fogliare è aumentato nelle dosi più alte così come il contenuto di N nel terreno.

Il primo ciclo colturale effettuato su di un terreno povero di elementi nutritivi ha mostrato una buona curva di dose-risposta alle diverse concentrazioni di N fornito. La lattuga non concimata ha prodotto circa 600 g/m², la dose di 50 kg/ha in media 900 g/m², mentre le dosi più elevate (100 e 150 kg/ha) hanno fatto registrare valori di 1700-1800 g/m² senza mostrare differenze statistiche (Fig. 8.2). Il ciclo colturale è stato lento ed è durato 120 giorni.

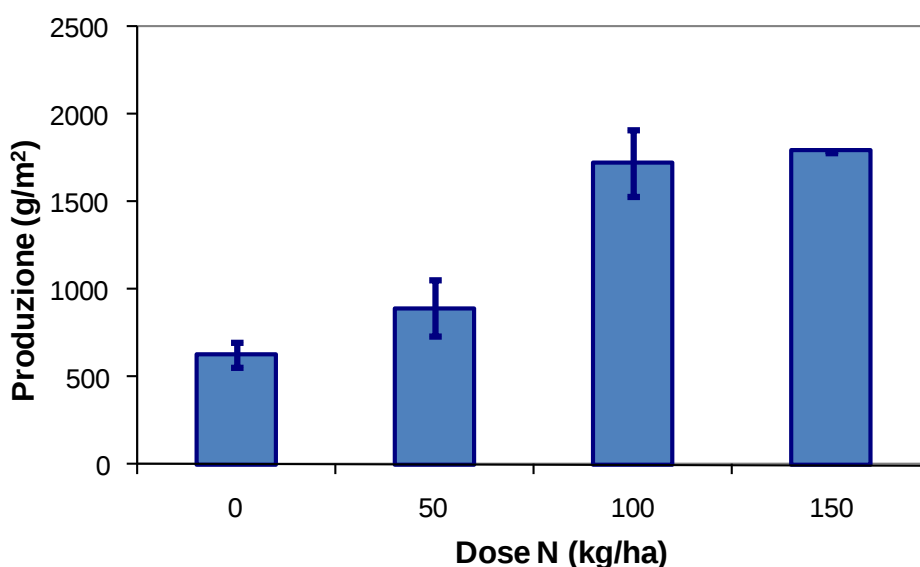


Figura 8.2. Produzione in lattuga da taglio concimata con diverse dosi di azoto, in un terreno con limitata disponibilità di macroelementi e scarsa dotazione di sostanza organica. I valori sono medie con gli errori standard.

Il contenuto in nitrati nelle foglie è diminuito all'aumentare della dose applicata. Questo comportamento fisiologico è stato dovuto molto probabilmente a una carenza di elementi nutritivi nel terreno che ha limitato anche l'attività fotosintetica. In queste condizioni i nitrati si sono accumulati nelle foglie, molto probabilmente per compensare la carenza di zuccheri semplici nella funzione osmotica. I valori più elevati sono stati riscontrati nel controllo non concimato con un contenuto medio di 2000 mg/kg p.f., mentre nella dose più elevata il contenuto in nitrato è stato in media di 900 mg/kg p.f..

Nelle prove successive la concentrazione dei macroelementi è stata portata nell'intervallo ottimale così come la sostanza organica, la produzione e la crescita delle piante sono aumentate proporzionalmente alle dosi di N somministrate, raggiungendo il massimo alla dose di 100 kg/ha come nelle prove con carenza di elementi nutrizionali. La produzione massima è stata di 1,8 kg/ha alle dosi di 100 e 150 kg/ha.

Il contenuto di nitrato nelle foglie è aumentato in modo esponenziale all'aumentare della dose azotata. Il valore più elevato è stato osservato nella dose 100 e 150 kg/ha con medie variabili tra 1800 e 2200 mg/kg p.f. (Fig. 8.3), contrariamente a quanto riscontrato nelle prime prove. L'area fogliare, il peso e la lunghezza delle piante sono aumentati all'aumentare della dose di N. Il contenuto in nitrato è aumentato nelle dosi più alte e analogamente il contenuto nel terreno (Fig. 8.3).

Sempre nell'ambito del progetto sono stati effettuati dei monitoraggi, a livello aziendale, per studiare l'effetto stagionale sull'accumulo dei nitrati nelle foglie del lattughino da taglio. Il monitoraggio è stato effettuato in alcune aziende della provincia di Bergamo, dove sono localizzate le principali industrie della quarta gamma. I dati meteorologici (temperatura dell'aria e radiazione solare globale) sono stati ottenuti dalla stazione di Orio al Serio del servizio meteorologico dell'Aeronautica.

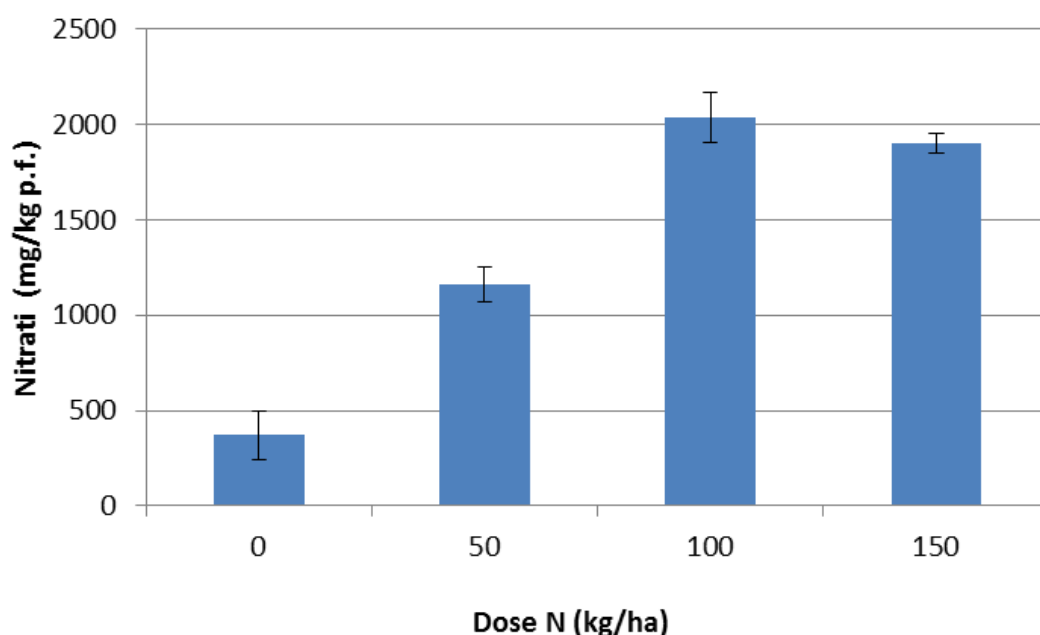


Figura 8.3. Effetto della dose azotata sul contenuto di nitrati nelle foglie, in un terreno con buona disponibilità di macroelementi e di sostanza organica. I valori sono medie con i relativi errori standard.

Il contenuto di nitrato nei diversi periodi dell'anno è stato correlato all'andamento meteorologico, ottenendo risultati in buon accordo con quelli forniti dalla letteratura scientifica di riferimento. Più in particolare, è stata riscontrata una correlazione negativa tra contenuto di nitrati e livelli di radiazione solare globale e di temperatura, con contenuti in

nitrato più ridotti nel periodo primaverile-estivo (media variabile da 500 a 2000 mg/kg p.f.) e più elevati in quello autunno-invernale (valori superiori ai 4000 mg/kg p.f.). Tale peculiare comportamento si giustifica con il fatto che l'organizzazione dei nitrati dipende dall'attività fotosintetica e quindi dai fotosintetati disponibili ed è inoltre sensibile alla temperatura. Più nello specifico è noto che l'optimum termico per le attività fisiologiche della lattuga si colloca intorno ai 20 - 24 °C, per cui allontanandosi da tale intervallo il metabolismo del nitrato rallenta con conseguente aumento del nitrato accumulato.

In base ai risultati ottenuti, si evince ancora una volta, che è molto importante calcolare il reale fabbisogno di N del lattughino da taglio, soprattutto per i cicli colturali autunno-vernini, al fine di evitare un eccessivo accumulo di nitrati nelle foglie e superare i limiti imposti dalla C.E. (Reg. n° 1258/2011).

BIBLIOGRAFIA

- Alberici, A., Quattrini, E., Penati, M., Martinetti, L., Marino Gallina, P., Ferrante, A., 2008. Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. *Acta Hort.* 801, 1167-1176.
- Baldi, L., Casati, D., 2009. Il settore della IV gamma e il suo sviluppo in Lombardia: gli aspetti economici. *Bullettino dell'Agricoltura, Atti della Società Agraria di Lombardia* 3-4, 17-36.
- Bracco, S., Di Vita, G., Lanfranchi, M., Finocchiaro, R.V., 2007. Il consumo degli ortaggi di IV gamma in Sicilia. *Tecnica Agricola* 2-3, 1-15.
- Colelli, G., Elia, A., 2009. I prodotti ortofrutticoli di IV gamma: aspetti fisiologici e tecnologici. *Italus Hortus* 1, 55-78.
- Diaz, K., Malorgio, F., Tognoni, F., Serra, G., 2006. Il *floatingsystem* per la produzione di ortaggi da foglia. *Informatore Fitopatologico* 3 (3), 57-58.
- Ferrante, A., Quattrini, E., Martinetti, L., Schiavi, M., Maggiore, T., 2005. *Floatingsystem* senza ossigenazione per la produzione di ortaggi da IV gamma. *Culture Protette* 12: 72.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G., Santamaria, P., 2003. Yeld and quality of lettuce grown in floating system using different soling density and plant spatial arrangements. *Acta Hort.* 614, 687-692.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G., Santamaria, P., 2004. Production and nitrate content in lamb's lettuce grown in floating system. *Acta Hort.* 644: 61-68.
- Malorgio, F., Pardossi, A., Casarotti, D., Tognoni, F., 1995. Contenuto di nitrati nella lattuga coltivata in NFT. *Culture Protette* 3 (3), 71-79.
- Pardossi, A., Malorgio, F., Incrocci, L., Tognoni, F., 2005. Hydroponic technologies for greenhouse crops. In: Dris R (Ed) *Crops: Quality, Growth and Biotechnology*, WFL Publisher, Helsinki, Finland, pp 360-378.
- Penati, M., Ferrante, A., Martinetti, L., Quattrini, E., Marino, P., Schiavi, M., Falavigna, A., Salamone, F., Sari, M., Frigeni, S., Rocchetti, R., Facchetti, M., 2009. Asportazioni di elementi nutritivi ed ottimizzazione della fertilizzazione delle colture da foglia destinate alla IV gamma. *Quaderni della ricerca* 107, pp. 48.

- Podetta, N., Ferrarese, M., Martinetti, L., Quattrini, E., Trivellini, A., Ferrante, A. 2011.
Rucola: la concimazione azotata nel *floating system*. Intersezioni 7, 1-3.
- Salva, M., Bignami, C., 2012. Le migliori varietà di spinacio per produrre quarta gamma.
L'Informatore Agrario 68 (20), 47-50.

Capitolo 9 – POMODORO IN SERRA

Cherubino Leonardi e Francesco Giuffrida

9.1. INTRODUZIONE

Il pomodoro (*Solanum lycopersicum* L., Fam. *Solanaceae*) domina nettamente il panorama biologico dell'orticoltura italiana. Il pomodoro occupa circa il 23% delle superfici destinate alle colture protette nel nostro Paese (ISTAT). Con riferimento alle strutture di protezione, si tratta in prevalenza di serre praticamente sprovviste di impianti di condizionamento del clima. Alle “classiche” serre in plastica si sono già da oltre un decennio affiancati i grandi tunnel e serre tunnel che presentano numerose analogie con le serre in plastica. Allo scopo di rendere meno variabili i livelli delle rese alcuni apprestamenti si caratterizzano per la presenza di dispositivi per il controllo delle basse temperature.

Condizioni favorevoli per l'affermazione della coltura sono l'elevato grado di adattabilità alla coltivazione in ciclo extrastagionale e la possibilità di articolare le tipologie di prodotto e di assecondare quindi le varieghe esigenze del mercato. In rapporto a quest'ultimo aspetto il pomodoro prodotto in serra, destinato esclusivamente al consumo allo stato fresco, configura una pluralità di indirizzi che si esprimono anche sotto il profilo delle caratteristiche dell'offerta. Tali caratteristiche riguardano lo stadio di maturazione alla raccolta (dall'invasatura sino a maturità fisiologica), la presentazione del prodotto (frutto singolo o grappolo) e la pezzatura dei frutti (grossa - beeftomatoes - media, piccola e piccolissima dimensione).

Il pomodoro da mensa in coltura protetta interessa in Italia una superficie complessiva media (2006-2009) pari a 7586 ha. Il trend nel quadriennio considerato non ha fatto registrare variazioni di rilievo. Analogo andamento è stato osservato per la produzione che nel quadriennio ha riportato valori totali medi di circa 540.000 t, con una resa media di 67,0 t/ha.

La distribuzione geografica della coltivazione interessa quasi tutte le Regioni italiane con una localizzazione maggiore al Sud (73,8%); più contenute le superfici investite al Nord (14,0%) e al Centro (12,2%). Le regioni maggiormente coltivate risultano la Sicilia (48,8%), la Campania (13,6%), il Lazio (10,9%), il Veneto (8,6%) e la Sardegna (5,9%). Seguono con investimenti percentuali più bassi la Calabria (2,2%), la Puglia (2,2%), il Piemonte (1,8%) e la Lombardia (1,7%). Quest'ultima rappresenta la regione che ha registrato la contrazione più rilevante delle superfici investite nella coltivazione nel quadriennio considerato, con una riduzione, dal 2006 al 2009, di oltre il 78%. Con riferimento alle produzioni regionali, in linea con quanto osservato per le superfici, al primo posto si attesta la Sicilia con 242.655 t (44,0% della produzione nazionale); seguono la Campania con 76.307 t (14,1%), il Lazio con 56.913 t (10,5%), il Veneto con 48.551 t (8,8%) e la Sardegna con 45.541 t (8,3%). Quest'ultima risulta la più produttiva per unità di superficie con una produzione pari a 108,2 t/ha; seguono

la Lombardia (86,9 t/ha) e la Calabria (85,9 t/ha). Nell'ambito delle Regioni maggiormente interessate dalla coltivazione del pomodoro da mensa, alcune provincie risultano particolarmente vocate. Tra queste la provincia di Ragusa copre da sola il 54,0% dell'intera superficie siciliana e il 26,4% di quella Italiana. Seguono Salerno (10,1%), Latina (8,2%), Cagliari (5,0%) e Verona (4,7%).

Questo capitolo esamina la coltura del pomodoro da mensa in serra nell'area di Ragusa.

Caratteristiche morfo-biologiche

La pianta di pomodoro è tendenzialmente perennante, con l'accrescimento che può essere determinato o indeterminato. La radice è fittonante con numerose ramificazioni più o meno superficiali; lo stelo è inizialmente eretto e quindi decumbente; le foglie sono alterne pennatosette pubescenti con odore aromatico caratteristico; le infiorescenze sono costituite da un numero variabile di fiori, che nelle cultivar con bacche di più elevate dimensioni è in genere inferiore a 10, mentre in quelle a bacca piccola (es.: pomodoro ciliegia) può superare i 50; i fiori possono essere articolati o meno e presentano un numero di stami e di petali in genere uguale a 5. La fioritura è scalare tra i diversi grappoli e, nell'ambito di ciascun grappolo, tra i diversi fiori. L'impollinazione è prevalentemente autogama.

Il pomodoro è considerata una specie da stagione calda anche se, tra le principali colture di serra, esso mostra la maggiore adattabilità a condizioni climatiche differenziate. La durata del ciclo biologico è variabile; in condizioni climatiche favorevoli la maturità fisiologica delle prime bacche può essere raggiunta in circa 90 giorni dalla semina, per un totale di gradi giorno compreso tra 2000 e 3000. Gli elementi che diversificano il pomodoro di serra rispetto a quello di pien'aria sono numerosi ma tutti più o meno direttamente ancorati alle caratteristiche genetiche e biologiche delle cultivar utilizzate, tutte ad accrescimento indeterminato.

9.2. LA COLTURA IN SERRA DI POMODORO IN PROVINCIA DI RAGUSA

Clima

L'aspetto ambientale che maggiormente connota gli areali di coltivazione del pomodoro in coltura protetta è dato dal favorevole decorso dei parametri climatici, in particolare temperatura, radiazione, umidità. Si tratta di areali che in larga misura consentono di operare all'interno di apprestamenti di norma non riscaldati (serre fredde) localizzati in prevalenza nelle regioni meridionali. La principale ragione di siffatta localizzazione dell'orticoltura protetta, è senza dubbio da riferire al mite clima invernale, compatibile con la coltivazione sotto serre fredde ricoperte in materiale plastico.

Nel ragusano, dove la coltura trova maggiore diffusione, la temperatura media da ottobre a marzo è compresa tra un valore intorno a 20°C in ottobre e 12-13°C in gennaio. Con più specifico riferimento a Ragusa e più in generale alla fascia meridionale della provincia che ha il suo epicentro in Vittoria, si registra una nebulosità invernale inferiore al 35-40%, ciò che determina valori di insolazione reale da ottobre a marzo di circa 900 ore, e livelli di irraggiamento globale compresi tra 130 e 200 cal cm²/giorno.

In tali condizioni è possibile la coltivazione del pomodoro in serra fredda durante l'inverno, fatto salvo il rischio legato a eventi climatici avversi non prevedibili. Allontanandosi dalle zone costiere e in tutte le altre regioni del Paese dove la coltura trova diffusione in ambiente protetto, tanto risulta possibile a condizione che siano evitati i mesi più freddi attraverso cicli più adeguati. Allo scopo di assicurare condizioni termiche più favorevoli l'adozione di impianti di condizionamento climatico appare auspicabile.



Colture di pomodoro dotate di impianti di riscaldamento localizzato.

Il rovescio della favorevole situazione climatica invernale è costituito dagli elevati livelli di temperatura che si raggiungono in serra nelle giornate più soleggiate e comunque durante la piena estate. Si tratta di un altro aspetto attentamente considerato in relazione da un lato agli improponibili oneri di carattere economico per dotare la serra degli impianti dei dispositivi idonei per il controllo delle alte temperature, dall'altra alle difficoltà di modificare significativamente i parametri costruttivi della serra allo scopo di renderli idonei alla installazione degli impianti per il controllo dei fattori del clima.

Sistemi e cicli di coltivazione

La coltivazione in serra, che interessa quasi tutti i mesi dell'anno, come accennato, viene generalmente effettuata, anche nei periodi climaticamente meno favorevoli, in serra fredda.

In serra l'accrescimento e lo sviluppo della pianta risultano fortemente modificati; le differenze rispetto alla pien'aria possono essere ricondotte sia alle modificazioni delle condizioni climatiche che ai metodi ed alle tecniche di coltivazione. In riferimento alle prime ed in funzione di cicli di coltivazione pressoché continui nel corso di tutto l'anno, si registrano effetti assai rilevanti su molte caratteristiche qualitative del prodotto.

In serra fredda metodi e tecniche di coltivazione rimangono per molti aspetti sovrapponibili a quelli adottati in pien'aria; la coltivazione ad esempio viene eseguita su

terreno naturale ancorché modificato nelle sue principali caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Le colture fuori suolo, anche in rapporto alle evidenti implicazioni positive sulla qualità del prodotto, cominciano a trovare ampia diffusione. Il recente impulso alla diffusione deriva anche dai vincoli normativi nell'uso di sostanze chimiche per il controllo della stanchezza del terreno e dalla maggiore compatibilità dei sistemi fuori suolo con le serre di più recente costruzione.

L'ampliamento dei cicli colturali e quindi dei calendari di raccolta ha significativamente contrassegnato negli ultimi anni la coltivazione in serra.

In passato i cicli venivano avviati con trapianti in agosto, settembre-ottobre e dicembre, per concludersi rispettivamente a dicembre, in aprile e maggio-giugno. Il trapianto del pomodoro in serra si è ormai esteso praticamente a quasi tutti i mesi dell'anno per cui avviene senza soluzione di continuità da luglio fino a marzo. Il periodo di maggiore frequenza degli impianti, risulta comunque compreso tra agosto ed ottobre.



Allevamento inclinato del pomodoro realizzato per prolungare il ciclo di coltivazione nelle serre tradizionali.

Varietà

Più che per le altre colture diffuse in serra il pomodoro offre un patrimonio varietale assai assortito. Il profilo qualitativo del pomodoro coltivato in serra, fermo restando il ruolo fondamentale delle condizioni ambientali e delle tecniche colturali, risulta diversificato in funzione delle tipologie di bacche; nell'ambito di ciascuna di queste la cultivar può giocare un ruolo rilevante.

Le tipologie maggiormente diffuse sono rappresentate dal ciliegino e dal grappolo

rosso; tali tipologie occupano rispettivamente circa il 40% ed il 30% delle superfici; segue con il 15% il tipo ovale. Tipologie minori che hanno una qualche diffusione sono rappresentate da allungato, verde, datterino e cuore di bue.

In genere per ciascuna tipologia, anche in funzione della relativa affermazione, si ha una varietà di riferimento (es: tipo Ikram per la varietà a grappolo rosso, tipo Shiren per pomodoro ciliegia, tipo Piccadilly per la più recente tipologia ovale, ecc.). Tra le cultivar più diffuse ricordiamo 'Tyty' e 'Creativo' per il pomodoro ciliegia, 'Ikram' e 'Laetitia' per il grappolo rosso, 'Pixel' e 'Piccadilly' per l'ovale.

Preparazione dell'ambiente colturale

La preparazione del terreno e dell'apprestamento di protezione coincidono nelle regioni meridionali con i mesi estivi in corrispondenza dei quali la serra non condizionata risulta inospitale per le colture a motivo delle alte temperature.

I terreni in cui insiste la coltura, anche se di diversa origine, sono in prevalenza piuttosto sciolti. A parte la maggiore accuratezza della lavorazione, aspetti differenziali della preparazione del terreno in serra sono rappresentati, ove possibile, da apporti di materia organica, alle più laute distribuzioni di elementi minerali, alla pacciamatura con film plastico, in genere di colore nero. Nel corso dei mesi estivi viene praticata su circa il 30% delle superfici, la solarizzazione del terreno.

La preparazione degli apprestamenti prevede la copertura delle strutture mediante film costituiti per lo più di polietilene. La necessità di impedire l'accesso alla serra di insetti vettori di virus rende necessaria l'applicazione sulle aperture di reti a maglia sottile che, riducendo la ventilazione all'interno dell'apprestamento, determina un innalzamento dell'umidità dell'aria e quindi maggiori rischi di carattere fitopatologico con conseguenti riflessi sulla natura e sulla frequenza degli interventi di lotta.



Preparazione del terreno prima dell'impianto.

Impianto della coltura

Per l'impianto della coltura si fa ormai riferimento pressoché esclusivo a piantine ottenute in vivai specializzati; il trapianto interessa di fatto i diversi mesi dell'anno in relazione al conclamato interesse per un calendario di produzione continuo nel tempo ancorché irregolare nella quantità. I mesi maggiormente interessati dal trapianto (circa 65%) vanno da agosto ad ottobre. La tecnica di produzione delle piantine presenta alcune varianti mirate al riscontro di specifiche esigenze in tema di epoca di impianto e di cultivar; esse configurano spesso disponibilità ed impiego di piante a diversi stadi di sviluppo.

Alcune tra le varianti della tecnica vivaistica che in qualche misura possono avere riflessi sulle caratteristiche del prodotto riguardano la cimatura delle piantine e l'innesto. La cimatura viene effettuata per consentire l'allevamento delle piante a due steli; mentre per le piante innestate, utilizzate per problemi connessi alla stanchezza del terreno e che occupano circa il 10% delle superfici, di qualche interesse possono essere gli effetti dei portinnesti utilizzati sul vigore della pianta, e quindi sui fabbisogni di nutrienti, e su alcuni parametri di qualità dei frutti.

Cure colturali

Le tecniche di allevamento, di tutoraggio e di potatura verde della piante, che si configurano anche in relazione alla densità di piante, vengono operate anche secondo schemi mirati al miglioramento della qualità delle bacche (uniformità, colorazione, ecc.).

La potatura verde assume significato rilevante anche in serra per gli effetti che può determinare sulla qualità delle bacche e sulla distribuzione temporale delle produzioni. A parte gli effetti dovuti alla rimozione dei germogli ascellari e alla cimatura sulla crescita dei frutti e sul calendario di produzione, vi sono da considerare quelli legati alla rimozione delle foglie basali e alla cimatura del grappolo, a seguito dei modificati rapporti tra gli organi di accumulo e quelli di sintesi.

La rimozione delle foglie basali, a parte il controllo dello stato fitosanitario determina una migliore insolazione del grappolo e con riflessi sulla stessa epoca di maturazione delle bacche; l'intervento causerebbe tuttavia una contestuale riduzione nelle percentuali di sostanza secca e di solidi solubili nelle bacche.

L'intervento di rimozione dei fiori apicali, per limitare a 4-7 il numero di frutti per grappolo, ha invece la finalità di adeguare gli organi di accumulo alla capacità di assimilazione della pianta, in funzione della fase di accrescimento e delle condizioni ambientali; l'effetto più evidente che ne consegue riguarda una più uniforme pezzatura dei frutti nell'ambito dello stesso grappolo. Per favorire l'allegagione, l'impiego di bombi in alternativa al trattamento auxinico, impiegato sempre più raramente, risulta il più delle volte efficace e consente di migliorare la qualità delle bacche. In condizioni termiche estreme, la mancanza di polline vitale rende inefficace il lavoro di eventuali pronubi ed è indispensabile l'apporto di auxine esogene.

I metodi irrigui a microportata hanno di fatto sostituito quelli tradizionali a scorrimento. I primi, anche per il contestuale necessario ricorso alla pacciamatura del terreno, fanno sì che

le variazioni della disponibilità idrica nel terreno risultino più contenute. I volumi irrigui sono assai variabili in funzione della durata e della stagione del ciclo di coltivazione oltre che dello stadio fenologico della coltura. Apporti più contenuti in corrispondenza della maturazione sono considerati utili per migliorare alcuni parametri di qualità delle bacche anche se a discapito della pezzatura. L'impiego di acque ad elevata concentrazione dei sali è frequente; ad esso conseguirebbero significativi miglioramenti della qualità delle bacche (ad es. pomodoro di Pachino).



Biomassa asportata a seguito dell'operazione di sfogliatura.

I metodi irrigui a microportata hanno di fatto sostituito quelli tradizionali a scorrimento. I primi, anche per il contestuale necessario ricorso alla pacciamatura del terreno, fanno sì che le variazioni della disponibilità idrica nel terreno risultino più contenute. I volumi irrigui sono assai variabili in funzione della durata e della stagione del ciclo di coltivazione oltre che dello stadio fenologico della coltura. Apporti più contenuti in corrispondenza della maturazione sono considerati utili per migliorare alcuni parametri di qualità delle bacche anche se a discapito della pezzatura. L'impiego di acque ad elevata concentrazione dei sali è frequente; ad esso conseguirebbero significativi miglioramenti della qualità delle bacche (es.: pomodoro di Pachino). L'alimentazione minerale rappresenta uno dei fattori che più ha influenza sulla risposta della coltura.



Vecchia modalità per la realizzazione di una fertirrigazione rudimentale su colture irrigate per scorrimento.



Recente installazione di un impianto di fertirrigazione

Raccolta e lavorazione

Durante la fase di maturazione si verificano le maggiori variazioni a carico del contenuto di zuccheri riduttori, di acidi organici, di acido ascorbico e di altri costituenti delle bacche. In linea teorica i pomodori dovrebbero essere raccolti a completa colorazione dato che i frutti maturati sulla pianta presentano un profilo di qualità certamente migliore rispetto a quelli raccolti in corrispondenza dell'invasatura e maturati in magazzino. Tuttavia, nella realtà operativa, lo stadio di maturazione risulta assai differenziato in funzione della tipologia varietale, della destinazione del prodotto, del grado di resistenza alle manipolazioni delle

bacche a completa maturazione, della distanza dei mercati di consumo e, in taluni casi, delle stesse esigenze di mercato legate alla modalità di utilizzazione.

Il processo di maturazione non si interrompe durante le fasi di manipolazione e commercializzazione a condizioni che la raccolta non preceda la fase di invaiatura. Per i pomodori di pezzatura medio grossa, per quelli costoluti e per quelli a bacca allungata, la raccolta viene in genere effettuata dall'invaiatura all'inizio della colorazione arancione della bacca. I pomodori ciliegia ed i pomodori tondi medio-piccoli vengono invece di norma raccolti a maturazione completa.

Il livello delle rese è assai variabile in funzione della cultivar, dell'epoca e della durata del ciclo di coltivazione. Nella serra coltura meridionale si registrano variazioni comprese tra 50 e 150 t/ha; livelli più modesti vengono registrati naturalmente nel caso in cui il ciclo venga interrotto anticipatamente per poter realizzare un secondo ciclo di pomodoro o impiantare un'altra coltura.

La serbevolezza delle bacche, anche di quelle prodotte in serra a funzione, oltre che delle condizioni di coltivazione e di conservazione, dello stadio di maturazione alla raccolta e della varietà. Per i tipi di pomodoro "*long shelf life*" di recente costituzione e per raccolte effettuate poco dopo l'invaiatura la conservazione può essere protratta anche oltre le tre settimane. Un fattore che può, a partire dalla stagione primaverile, pregiudicare notevolmente la serbevolezza e la resistenza ai trasporti del pomodoro di serra è la elevata temperatura dei frutti al momento della raccolta. In rapporto a ciò essa dovrebbe essere sospesa allorché la temperatura supera i 26°C; le bacche raccolte nelle ore più calde dovrebbero essere sottoposte ad una tempestiva refrigerazione.

La selezione e il confezionamento dei frutti, spesso differenti in rapporto alle tipologie di prodotto, favoriscono l'uniformità di pezzatura e di colorazione nell'ambito di uno stesso contenitore migliorando così i requisiti esteriori. Tali operazioni sono più o meno accurate in rapporto alla destinazione delle produzioni; all'ampiezza dell'azienda e quindi al volume di produzione, alla figura dell'imprenditore. Il conferimento del prodotto ai mercati o alle cooperative ha progressivamente avuto un positivo ruolo ai fini della qualificazione dell'offerta.

Calendario di offerta

Gli impianti pressoché continui della coltura e la scalarità di maturazione del prodotto, permettono di realizzare un calendario di raccolta che si estende ininterrottamente da ottobre a luglio. Sotto il profilo delle quantità offerte il diagramma è tuttavia irregolare a motivo degli effetti delle condizioni ambientali sui ritmi di maturazione. Le maggiori quantità di pomodori di serra si ottengono tra la primavera e l'inizio dell'estate; il periodo di luglio e settembre assume di per sé scarso significato ed interesse per le produzioni di serra, anche se la recente tendenza è in direzione di un ampliamento del periodo produttivo. In ogni caso l'esteso periodo di produzione fa sì che il processo di maturazione si realizzi sotto l'influenza di condizioni ambientali diverse, molte delle quali si riflettono sulla qualità.

La generalizzata assenza di dispositivi per il controllo delle temperature rende i

calendari di offerta strettamente dipendenti dal decorso climatico. In rapporto a ciò nelle aziende più moderne si fa ricorso al controllo delle temperature minime realizzato non solo come intervento di soccorso, ma anche per assicurare livelli più prossimi a quelli ottimali; è in tal modo possibile assicurare un calendario di offerta più rispondente ai conferimenti programmati di prodotto. Il problema del controllo delle alte temperature resta per contro di difficile soluzione, anche in relazione all'accentuata concorrenza cui andrebbero incontro le produzioni di serra nei periodi più caldi da parte di quelle ottenute dalle coltivazioni di pien'aria. È anche ben noto del resto l'interesse a prolungare i cicli di coltivazione, quanto meno fino alla tarda primavera, per poter intensificare il processo produttivo e valorizzare meglio in termini economici gli impianti. Il contenimento delle elevate temperature estive è alla base del crescente interesse in atto riservato a nuove tipologie di apprestamento in grado di evitare o di attenuare all'interno della serra le condizioni di stress termico (e quindi udometrico) pregiudizievoli ai fini del corretto decorso dei processi fisiologici, delle rese e della stessa qualità del prodotto. Le soluzioni al problema, per ragioni di sostenibilità economica fanno riferimento al controllo passivo (es. aumento della superficie di aerazione, copertura con reti ombreggianti, aumento della cubatura).

9.3. NUTRIZIONE E CONCIMAZIONE AZOTATA

La gestione della fertilizzazione, anche per il pomodoro, rappresenta un fattore importante per i possibili riflessi sul livello delle rese, sui costi di produzione e sull'impatto ambientale determinato dagli elementi minerali non assorbiti dalla coltura (Hochmuth, 2003). Essa viene gestita oltre che sul piano delle dosi (di norma elevate), su quello dei tempi di somministrazione e dei rapporti tra gli elementi minerali. La pratica della concimazione in ogni caso è migliorata in relazione alla progressiva affermazione di metodi di irrigazione a microportata che hanno reso contestuale la distribuzione dei concimi. Il K, tra i diversi elementi minerali, per più lungo tempo è stato considerato assai importante in rapporto agli effetti che ha su diversi parametri di qualità (scatolatura, uniformità di colorazione, acidità titolabile, ecc.); un eccesso di K a discapito di Ca e Mg nella fase di maturazione determina tuttavia l'insorgenza di disordini fisiologici quali ad esempio il marciume apicale.

Il problema del possibile accumulo di elementi minerali nei tessuti della pianta, in conseguenza della loro eccessiva disponibilità nella soluzione nutritiva, come nel caso dell'N nitrico, assume per il pomodoro, ed almeno con riferimento alla porzione edule, modesto rilievo. Rimangono da definire i possibili riflessi di diverse disponibilità di N sulle altre caratteristiche di qualità delle bacche.

Protocolli di concimazione

Per il pomodoro, analogamente alle altre colture intensive realizzate in ambiente protetto, si fa frequente riferimento ad elevati input soprattutto per ciò che attiene alla voce fertilizzanti (Hochmuth, 2003). Una indagine condotta nel ragusano su pomodoro, ha consentito di mettere in luce un'elevata variabilità in termini di input di fertilizzanti riferiti ad unità di prodotto (kg/t: da 1,5 a 5,1 per N, da 1,1 a 6,3 per P_2O_5 e da 4,0 a 10,8 per K_2O). Gli

ampi range registrati testimoniano la modesta importanza attribuita dall'agricoltore all'ottimizzazione della nutrizione delle piante.

D'altra parte, anche se sono disponibili numerosi riferimenti bibliografici, questi spesso non sono aggiornati e, tra di loro, mostrano rilevante variabilità in termini di assorbimento per unità di prodotto (Cornillon, 1974; Sainju *et al.*, 2001; Karaman *et al.*, 2005). Ciò può essere ascritto all'adozione di genotipi differenti per vigore e/o efficienza d'uso del nutriente (Gerloff e Gabelman, 1983; Hochmuth, 2003). I dati desumibili dalla letteratura scientifica evidenziano quindi una elevatissima variabilità in termini di apporti – tra 65 e 650 kg/ha di N – solo in parte riconducibile ai livelli delle rese che si possono registrare nei diversi contesti di coltivazione; le asportazioni dell'elemento riferite alla produzione pur attestandosi nella media su valori prossimi a quelli di riferimento (2,8 kg/t), hanno mostrato una ampia variabilità compresa tra 1,2 e 9,1 kg/t. Tale variabilità potrebbe essere messa in relazione alla notevole articolazione che interessa la coltura sotto il profilo dell'ambiente colturale, del sistema di coltivazione (es.: colture fuori suolo vs colture su terreno), della durata del ciclo di coltivazione (es.: da pochi mesi a quasi un anno), della tipologia e/o destinazione merceologica (es: tipi a piccoli frutti vs tipi a bacca grossa). In considerazione di tale ampia variabilità, appare interessante comprendere i meccanismi coinvolti nel processo di assorbimento di N e i fattori che ne possono influenzare l'andamento. Ad esempio, per una coltura di pomodoro, in condizioni di elevata disponibilità di N, la gran parte dell'elemento viene assorbito da un volume di terreno con un raggio minore di 70 cm, nel quale si trova soltanto il 50% dell'intero apparato radicale (Lecompte *et al.* 2008).

Inoltre, l'attuale tendenza per la concimazione delle piante da orto in ambiente confinato è quella di somministrare alla pianta una quantità costante di concime azotato per tutta la durata del ciclo colturale, senza considerare il rischio di un apporto non ottimale in alcune fasi del ciclo di coltivazione in considerazione del diverso ritmo di accrescimento (Nkoa *et al.*, 2002). I margini per una razionalizzazione degli apporti di fertilizzanti azotati appaiono comunque piuttosto significativi, ciò anche grazie ad una più puntuale quantificazione dei fabbisogni colturali ed alla definizione di curve dose/risposta.

Per razionalizzare gli apporti di N nella coltura in serra di pomodoro, nell'ambito del Progetto AZORT sono state condotte delle prove che hanno avuto luogo nella fascia costiera della provincia di Ragusa specificatamente nei comuni di Vittoria e di Scicli. Tali prove, realizzate in serra fredda, hanno avuto per oggetto alcuni ibridi F₁ ampiamente diffusi in zona; 'Shiren' e 'Panarea' della tipologia "ciliegia", studiati nel corso di una "campagna diretta" avviata a novembre, 'Lucinda' e 'DRC 524' della tipologia "datterino" impiegati nel corso di una "seconda campagna" avviata a Gennaio. Un altro esperimento è stato realizzato con le cv. 'Santa' e 'Lobello' adottando dosi crescenti di N comprese tra 0 e 500 kg/ha.

Dalla sperimentazione sono emersi alcuni risultati sintetizzati di seguito:

- gli effetti delle dosi di N sulle caratteristiche di qualità del prodotto sono stati piuttosto contenuti ed hanno riguardato il peso unitario delle bacche e la relativa consistenza; assai modeste sono state le variazioni registrate a carico delle coordinate cromatiche, dei solidi solubili e dell'acidità titolabile.

- le variazioni nell'assorbimento di nutrienti sono state considerevoli; ciò è riconducibile alla differenza tra le cultivar in termini di lunghezza del ciclo colturale e di conseguenza di biomassa prodotta, più elevata per il pomodoro ciliegia.
- le asportazioni unitarie (kg/t; Fig. 9.1 e 9.2) si sono differenziate da quelle riportate in letteratura, dimostrando la necessità di una puntuale gestione della fertilizzazione basata sulla preliminare quantificazione delle reali esigenze colturali. La variabilità riscontrata tra le diverse cultivar adottate è stata riconducibile al diverso indice di raccolta, più basso per la tipologia datterino.

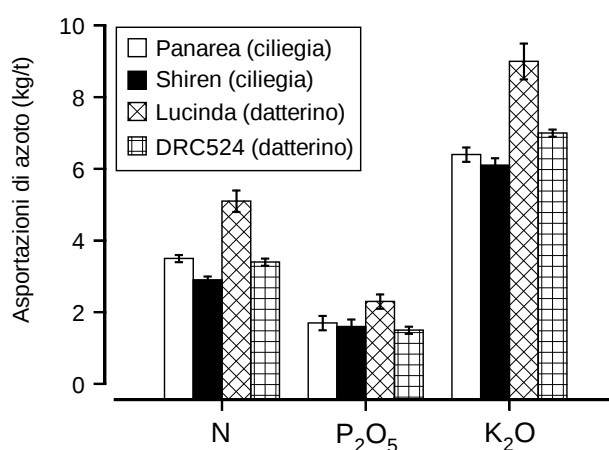


Figura 9.1. Asportazioni unitarie dei principali elementi nutritivi in diverse cultivar di pomodoro da mensa coltivato in serra nella zona di Ragusa.

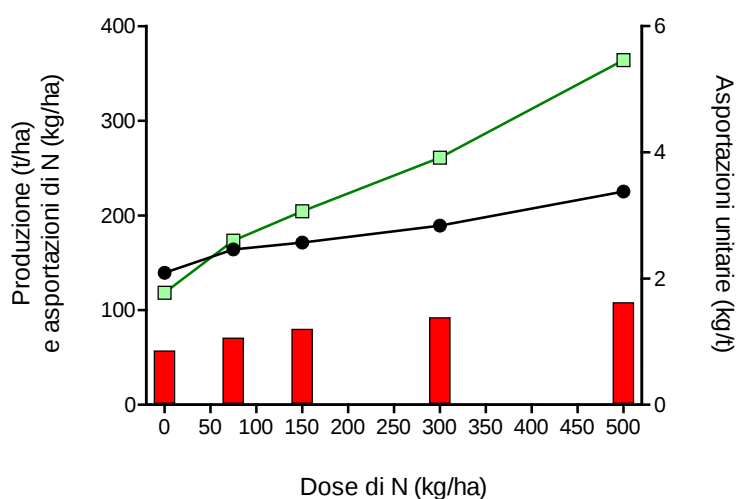


Figura 9.2. Effetto della concimazione azotata su produzione di frutti (barre) e asportazioni (totali e unitarie, linea verde e nera, rispettivamente) di N del pomodoro da mensa coltivato in serra nella zona di Ragusa.

Protocolli per la concimazione azotata

Di seguito si riportano alcune indicazioni operative che tengono conto delle attività sperimentali condotte dall'Università di Catania, di quanto riportato nella letteratura scientifica e delle pratiche adottate da alcune aziende operanti in areali rappresentativi della coltivazione del pomodoro in coltura protetta.

1. Per la quantificazione degli apporti teorici occorre fare riferimento alla produzione attesa alle asportazioni unitarie. Il valore ottenuto viene moltiplicato per un indice di efficienza pari a circa 0.80; tale indice può essere lievemente ridotto in condizioni non ottimali di assorbimento o qualora il rischio lisciviazione (dovuto ad un terreno sciolto o a irrigazioni non ottimali, in genere per eccesso) sia significativo.
2. Compatibilmente con l'organizzazione aziendale, occorre procedere periodicamente (ogni 3-4 cicli) ad un'analisi del terreno per evidenziare le condizioni di riferimento alle quali rifarsi nella quantificazione degli apporti. Per semplificare le procedure, anche in rapporto al dinamismo dei sistemi di coltivazione, si adotta un approccio di restituzione che non tenga conto delle precessioni culturali. Ovviamente, devono essere quantificati gli ulteriori apporti dell'elemento con l'acqua irrigua e con le concimazioni organiche. A tale scopo si rende necessaria la quantificazione preventiva dei volumi irrigui e una periodica analisi dell'acqua di irrigazione.
3. In rapporto alla presenza generalizzata di sistemi di irrigazione localizzata, che consentono la realizzazione della fertirrigazione, la concimazione in pre-impianto assume una modesta importanza in particolare per i cicli che hanno una durata prolungata. Nei casi in cui venga realizzata la concimazione organica, va considerata la frazione di N che, in rapporto alla natura stessa della matrice impiegata, si renderà disponibile nel corso della coltivazione.
4. Per passare dai fabbisogni netti al piano di distribuzione di N, occorre conoscere i dati cronologici della coltura e il ritmo di accrescimento. Per la distribuzione temporale degli interventi di fertirrigazione occorre considerare il modesto fabbisogno nelle prime settimane dal trapianto e nel mese che precede la conclusione del ciclo di coltivazione, quando le piante sono state già ciminate e gli ultimi frutti presenti sono prossimi all'accrescimento massimo. In considerazione del diverso ritmo di accrescimento, si consiglia una frequenza quindicinale nel corso dei mesi invernali e settimanale negli altri periodi. Frequenze più elevate sono consigliate quando la fertirrigazione è automatizzata.
5. Il successo della concimazione dipende dalla gestione dell'irrigazione. Pertanto, occorre definire accuratamente le frequenze e i volumi irrigui, oltre alla quantità delle soluzioni concentrate da iniettare nell'acqua irrigua. Una sincronizzazione opportuna si rende necessaria allo scopo di distribuire i nutrienti nella rizosfera e limitare le perdite dell'N per lisciviazione. A tale scopo l'iniezione della soluzione concentrata dovrebbe riguardare o l'intero intervento irriguo o la seconda parte dello stesso.

Nel corso di una "seconda campagna" avviata nel mese di gennaio nel litorale costiero della provincia di Ragusa, sono state poste a confronto due cultivar di pomodoro della tipologia miniplum (datterino) caratterizzate da differente vigore, 'Santa' F₁ (molto vigorosa)

e 'Lobello' F₁ (mediamente vigorosa) e cinque diversi apporti di N: 0 kg/ha di N (testimone non concimato); 75 kg/ha di N (1/2 della dose massima ammissibile indicata dal Programma di azione obbligatorio per le ZNV); 150 kg/ha di N (dose massima ammissibile indicata dalla Direttiva Nitrati 676/91); 300 kg/ha di N (dose applicata in rapporto alle asportazioni teoriche ed alle rese previste della coltura); 500 kg/ha di N (dose applicata di norma nell'areale di coltivazione considerato).

Per entrambe le cultivar l'incremento degli apporti di N fino a 500 kg/ha ha comportato un aumento delle produzioni pari a circa il 100%, senza però influenzare in maniera apprezzabile la precocità della coltura espressa dal tempo medio di raccolta. Anche le asportazioni di N hanno manifestato un simile trend. Tuttavia l'incremento delle asportazioni è stato più che proporzionale rispetto alle variazioni osservate per la produzione di bacche, comportando un rilevante aumento delle asportazioni riferite all'unità di prodotto ed una riduzione dell'efficienza d'uso di N.

BIBLIOGRAFIA

- Cornillon, P., 1974. Nutrition et fertilisation de la tomate. La Tomate Journées Information INVUFLEC Paris, 107-116.
- Gerloff, G.C., Gabelman, W.H., 1983. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: A. Lauchli and Bielecki, R.L. (Eds.), Encyclopaedia of Plant Physiology, New Series, 15B: 453-480.
- Hochmuth, G.J., 2003. Progress in mineral nutrition and nutrient management for vegetable crops in the last 25 years. HortSci. 38, 999-1003.
- Karaman, M.R., Saltali, K., Ersahin, S., Gulec, H., Derici, M.R., 2005. Modelling nitrogen uptake and potential nitrate leaching under different irrigation programs in nitrogen-fertilized tomato using the computer program NLEAP. Envir. Monit. Assess. 101, 249-259.
- Lecompte, F., Bressoud, F., Pares, L., De Bruyne, F., 2008. Root nitrate distribution as related to the critical plant N status of a fertirrigated tomato crop. J. Hortic. Sci. Biotech. 83, 223-231.
- Nkoa, R., Coulombe, J., Desjardins, Y., Owen, J., Tremblay, N., 2002. Nitrogen supply phasing increases broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) growth and yield. Acta Hortic. 571, 163-170.
- Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., 2001. Comparison of the effects of cover crops and nitrogen fertilization on tomato yield, root growth, and soil properties. Sci. Hortic 91, 201-214.

Capitolo 10 – SPINACIO

Daniele Massa, Luca Incrocci, Pasquale Delli Paoli, Vanni Tisselli, Stefano Canali, Corrado Ciaccia e Alberto.Pardossi

10.1. GENERALITÀ¹⁸

Lo spinacio (*Spinacia oleracea* L., Fam. *Chenopodiaceae*) è un ortaggio originario del Caucaso coltivato in quasi tutte le regioni italiane, in particolare nel Lazio, Toscana, Campania, Veneto, Piemonte e Romagna. Si coltiva anche sotto serra per la preparazione di prodotti di IV gamma (spinacino). La produzione dello spinacio è concentrata nei mesi autunnali e invernali, quando i prezzi di mercato sono più interessanti. Buona parte della produzione è destinata all'industria per l'ottenimento di prodotti surgelati o disidratati.

Lo spinacio è molto apprezzato come verdura cotta, ha un contenuto in sostanza secca del 10% con il 3,5 – 4,0% di proteine. Molti studi evidenziano l'importanza dello spinacio nella dieta giornaliera per l'alto contenuto fogliare di vitamine, sostanze minerali e composti antiossidanti. (Welch, 2002).

Lo spinacio è una pianta erbacea a ciclo annuale, con radice fittonante rossa vicino al colletto. È una specie dioica: le piante maschili sono caratterizzate da steli fiorali senza foglie e con piccoli fiori verdastri riuniti in spighe terminali; le piante femminili hanno foglie complete fino all'estremità degli steli e portano fiori in glomeruli riuniti all'ascella delle foglioline.

Lo spinacio ha basse esigenze termiche e una buona tolleranza al freddo nella fase di rosetta. Germina con temperature minime di 3-5 °C, anche se la temperatura ottimale di germinazione è compresa tra 10 e 20 °C. La pianta si accresce in maniera ottimale con temperature medie comprese tra 15 e 18 °C; al disopra di 25 °C la fotosintesi è notevolmente rallentata. È una pianta longidiurna, con una rapida induzione a fiore quando il fotoperiodo supera 12 ore (maggio-agosto). Richiede un terreno fresco, permeabile e ben drenato, con pH superiore a 6,5; ha una buona tolleranza alla salinità e per una rapida crescita richiede condizioni di umidità elevata e costante.

Le cultivar presenti sul mercato sono distinte in base alla destinazione del prodotto (mercato o industria), alla forma del lembo fogliare (larga, arrotondata, allungata), al grado di bollosità e al colore (verde o verde scuro) delle foglie, al portamento del cespo (eretto o prostrato) e alla reazione alla lunghezza del giorno. Alla risposta fotoperiodica, infatti, è legata sia la tendenza alla pre-fioritura sia la tolleranza al freddo, che determinano la possibilità di coltivare lo spinacio nei diversi periodi dell'anno.

Sono due le categorie di cultivar più diffuse:

¹⁸ A. Pardossi e L. Incrocci

a) Cultivar autunno-invernali: sono adatte alla coltivazione in condizioni di giorno corto, hanno un'elevata vigoria e una buona tolleranza al freddo, ma vanno rapidamente a seme in condizioni di giorno lungo; si seminano a fine estate-autunno (agosto-ottobre) per produzioni autunno-invernali.

b) Cultivar primaverili-estive: si adattano alla coltivazione in condizioni di giorno lungo, in quanto sono lente a montare a seme; si seminano in primavera (marzo-aprile).

Per il mercato fresco si coltivano cultivar con le seguenti caratteristiche: media vigoria; resistenti alla peronospora, alle virosi e al freddo; foglie bollose, di colore verde intenso, picciolo corto, elevato contenuto di sostanza secca e basso contenuto di acido ossalico. Per le colture destinate all'industria si usano invece cultivar a foglia liscia e con portamento assurgente (per facilitare la raccolta meccanica), molto produttive e adatte alla trasformazione; inoltre, sono richiesti stabilità del colore verde delle foglie e basso contenuto di acido ossalico e di nitrati.

Tabella 10.1. Asportazioni unitarie (kg/tonnellata di prodotto utile) di N, P₂O₅ e K₂O dello spinacio coltivato in campo o in serra (baby leaf).

Coltura	N	P₂O₅	K₂O
Spinacio consumo fresco (Val di Cornia, Livorno, Toscana)	3,6–4,7	0,7–0,8	4,7–5,2
Spinacio da industria (Emilia Romagna)	3,2–4,3	0,8–1,3	4,2–5,0
Spinacio da industria (Foggia, Puglia)	5,6–6,0	n.d.*	n.d.*
Spinacio per baby-leaf (Bergamo e Brescia, Lombardia)	3,4–4,2	1,5–1,6	7,6–9,3

* Non determinato

L'impianto della coltura avviene attraverso la semina su suolo arato superficialmente e affinato con le lavorazioni secondarie. Nel caso di colture per il mercato fresco, in genere raccolte manualmente, il terreno viene baulato e sistemato a 'porche' per evitare i ristagni idrici. Nel caso di colture da industria, invece, la semina avviene su terreno livellato per facilitare la raccolta meccanica.

La densità colturale varia da 30 a 50 piante/m² a seconda della vigoria per il prodotto da mercato fresco fino ad arrivare a 200-250 piante/m² nel caso di colture da industria. Lo spinacio richiede un terreno fresco, permeabile e ben drenato, con pH superiore a 6,5. Ha una buona tolleranza all'elevata salinità.

Le esigenze nutritive sono di media entità, con asportazioni per tonnellata di prodotto di 3,6 - 4,7 kg di N, 0,7 – 1,6 kg di P₂O₅ e 4,7 – 9,3 kg di K₂O (Tab. 10.1). Per una rapida crescita richiede condizioni di umidità elevate e costanti; in certe zone e/o stagioni, può essere necessaria l'irrigazione alla semina e durante le prime fasi della crescita, anche per evitare fenomeni di prefioritura.

10.2. NUTRIZIONE E CONCIMAZIONE AZOTATA

La concimazione azotata influisce direttamente non solo sulla crescita e sulla resa produttiva dello spinacio, ma anche sulle proprietà qualitative estrinseche (ad es. colorazione delle foglie) e intrinseche (ad es. contenuto di elementi minerali, in particolare di nitrati), nonché sull'attitudine alla trasformazione e alla conservazione post-raccolta. È ben noto, infatti, che un'abbondante concimazione di N esalta caratteristiche qualitative molto importanti, soprattutto nello spinacio da consumo fresco, come il colore verde e la bollosità della foglia.

Esiste una correlazione positiva fra gli apporti di N e il livello produttivo dello spinacio coltivato a terra (sia in pieno campo sia in serra) e in idroponica (in serra) (Magnifico *et al.*, 1992; Biemond e Struik, 1996; Paradiso *et al.* 2001; Wang e Li, 2004; Gülser, 2005; Lefsrud *et al.*, 2007; Stagnari *et al.*, 2007; Tesi, 2010; Rodriguez-Hidalgo *et al.*, 2010a). Un'alta disponibilità di N nell'area radicale ne favorisce l'assorbimento radicale e l'assimilazione (organizzazione, soprattutto nelle foglie) (Chen *et al.*, 2004), accelerando il tasso di crescita della pianta. Un eccesso di N, d'altra parte, può determinare perdite di produzione importanti (Chen *et al.*, 2004; Wang e Li, 2004).

La risposta dello spinacio alle concimazioni azotate è influenzata dalla forma di N somministrata. Lo spinacio predilige, infatti, l'apporto di N sotto forma nitrica anche se in genere non si osservano riduzioni di produzione in seguito ad una concimazione a base di N ammoniacale e N nitrico in rapporto 1:1 (Zhang *et al.*, 2005; Stagnari *et al.*, 2007). L'apporto di solo N ammoniacale, invece, è da sconsigliare (Lasa *et al.*, 2001; Stagnari *et al.*, 2007; Assimakopoulou, 2006). La relativa tolleranza della coltura all'ammonio consente di ridurre l'apporto di nitrati, più soggetti alla lisciviazione, tende ad aumentare il pH del terreno con effetti negativi sulla disponibilità dei nutrienti e certamente favorisce l'accumulo di nitrati nei tessuti fogliari (Elia *et al.*, 1988; Gülser, 2005; Assimakopoulou, 2006).

Lo spinacio tende ad accumulare notevoli quantità di nitrati e di ossalati¹⁹, soprattutto quando è coltivato in condizioni di elevata disponibilità di N nitrico (Santamaria *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2004; Wang e Li, 2004; Zhang *et al.*, 2005; Stagnari *et al.* 2007). Comunque, in presenza di adeguati apporti di N, raramente il contenuto in nitrati nelle foglie di spinacio supera i limiti stabiliti dal Regolamento C.E. 1258/2011. Il contenuto di nitrati si riduce quando almeno una parte dell'N è fornito in forma ureica o ammoniacale (Gülser, 2005; Zhang *et al.*, 2005). L'apporto di N organico limita notevolmente l'accumulo dei nitrati e degli ossalati nelle parti edibili; tuttavia, la mancanza di N prontamente disponibile, caratteristica tipica dei concimi organici, può limitare ridurre la produzione, soprattutto nelle stagioni fredde (Stagnari *et al.* 2007; Citak e Sonmez, 2010).

Oltre ad aumentare il contenuto di nitrati, gli eccessi di N possono determinare squilibri nella crescita della pianta e una forte diminuzione della percentuale di sostanza secca nei

¹⁹ L'acido ossalico è un fattore antinutrizionale presente in numerosi alimenti, fra cui gli spinaci, che una volta ingerito si combina con diversi minerali (es. ferro, magnesio e soprattutto calcio) formando dei sali, detti ossalati, che impediscono il loro assorbimento e favoriscono la comparsa di stati di carenza (osteoporosi, anemie ecc.). Inoltre l'ossalato di calcio responsabile della formazione dei calcoli renali.

tessuti (Lefsrud *et al.*, 2007), che risultano così meno resistenti sia alle malattie sia alla lavorazione e alla conservazione post-raccolta. Tuttavia, l'influenza della nutrizione azotata sulla qualità post-raccolta dipende molto anche dal tipo di prodotto e dalla tecnica di coltivazione. Ad esempio, in idroponica (*floating system*) la concentrazione di N nella soluzione nutritiva (in un range compreso tra 110 e 220 mg/L) non sembra influenzare la *shelf-life* delle *baby leaf* di spinacio (IV gamma).

Nello spinacio, il livello di N nella zona radicale è positivamente correlato all'accumulo di Ca e K nelle parti edibili, ma non sembra influenzare il contenuto di Mg, almeno nelle colture di pieno campo.(Stagnari *et al.*, 2007). La distribuzione di una parte dell'N in forma ammoniacale aumenta significativamente il contenuto fogliare di Fe, Mn, Zn e P (Assimakopoulou, 2006; Stagnari 2007); probabilmente in seguito all'azione acidificante dell'ammonio. (Gülser, 2005). Al contrario, è stato osservato un effetto negativo dell'urea sull'accumulo di Ca, Mg e K rispetto ai concimi contenenti ammonio e/o nitrato (Khan *et al.*, 1999). Altri autori hanno riscontrato un minore accumulo di Ca e Mg in colture di spinacio concimate con N organico rispetto a quelle concimate con N minerale (Citak e Sonmez, 2009). Alcuni studi hanno rilevato una positiva correlazione tra la disponibilità di N e il contenuto fogliare di composti antiossidanti (ad es., luteina e β -carotene; Lefsrud *et al.*, 2007).

10.3. SPINACIO DA CONSUMO FRESCO IN TOSCANA²⁰

Lo spinacio costituisce una voce importante per l'economia agricola della Val di Cornia (comuni di Campiglia Marittima, S. Vincenzo, Suvereto, Piombino, Sassetta, in provincia di Livorno), dove è coltivato da circa 50 anni. Nel 2004 nella provincia di Livorno, la coltura dello spinacio si estendeva per circa 480 ha (ISTAT, 2006); in realtà, quasi tutto lo spinacio coltivato in questa provincia si trova in Val di Cornia. Peraltro, la superficie è soggetta ad una notevole variazione di anno in anno in funzione di diversi fattori (andamento del mercato dello spinacio e di altre colture, disponibilità di manodopera, etc.). Negli ultimi anni c'è stata comunque una contrazione della superficie coltivata con questa specie.

La coltura dello spinacio interessa prevalentemente la fascia della Val di Cornia tra la S.S. 1 Aurelia e la linea costiera, che è caratterizzata da terreni sabbiosi. Tuttavia la coltura è diffusa anche in altre zone su terreni franchi o franco-argillosi. Il clima della zona è quello tipico mediterraneo-tirrenico, con inverni miti, rare gelate, spesso poco piovosi (circa 600-700 mm nell'anno, in media). Lo spinacio, in Val di Cornia, è una tipica coltura intercalare che segue i cereali autunno-vernini o alcune colture ortive fertirrigue (pomodoro da industria, melone) e precede colture (da rinnovo) come pomodoro o melone. La monosuccessione è frequente, anche se non è ammessa dal Disciplinare di Produzione Integrata (DPI) della Regione Toscana (l'intervallo minimo per il ritorno dello spinacio sullo stesso appezzamento è di due anni). La coltura si semina in maniera scalare a partire dall'inizio di settembre fino ai primi di gennaio; così la stagione di raccolta va dalla metà di ottobre alla fine di aprile. Non mancano, tuttavia, colture raccolte a metà settembre o in maggio.

²⁰ D. Massa, L. Incrocci e P. Delli Paoli

La tipicità dello Spinacio della Val di Cornia è legata all'ambiente pedo-climatico e alla raccolta precoce delle piante (intere), che così presentano foglie tenere e molto verdi, e all'influenza dell'ambiente pedo-climatico. Nel tempo c'è stato un miglioramento della tecnica di coltivazione, soprattutto per quanto riguarda la difesa antiparassitaria, al fine di ottenere un prodotto esente da residui chimici, conforme alle norme sanitarie.



Lo spinacio della Val di Cornia (Livorno) si semina a fila su terreno baulato.

La raccolta si effettua manualmente e si compie in 2-3 volte; un operatore esperto riesce ad effettuare una prima ripulitura della pianta raccogliendo circa 25-30 kg di prodotto all'ora. L'operazione di ripulitura in campo consiste nella rimozione delle foglie più esterne ingiallite, disseccate o marcescenti e lascia sul terreno una quantità di residui che oscilla tra il 10 e il 20% (indice di raccolta o *harvest index*, HI, pari a 0.90-0.80). Lo scarto è maggiore in colture gravemente colpite dalla peronospora oppure da ristagni idrici. La cernita finale ed il lavaggio vengono eseguite in azienda; in seguito, lo stoccaggio avviene in celle frigorifere o all'aperto.



Spinacio della Val di Cornia (Livorno) al momento della raccolta.

Il prodotto è destinato soprattutto al mercato dei prodotti freschi nel Nord Italia e all'estero (Nord Europa, Germania in particolare), dove è molto apprezzato per le sue caratteristiche merceologiche di pregio: colore scuro, spiccata bollsità, elevata consistenza del lembo fogliare. Una parte è destinata alla quarta (prodotto imbustato) o quinta gamma (prodotto cotto). Proprio per la raccolta precoce delle piante in campo, le produzioni sono piuttosto basse, oscillando da 10 a 15 t/ha; solo nelle stagioni più favorevoli e con una gestione molto attenta della fertilizzazione si può arrivare fino a 18-20 t/ha.

Dalla semina alla raccolta sono necessari circa 650-1000 gradi·giorno o GDD (considerando una temperatura basale di 3,0°C) ovvero 70-80 giorni per le colture seminate a fine estate e 110-130 giorni per quelle seminate in dicembre –gennaio. Per la semina, sono impiegate seminatrici pneumatiche per ortaggi; la semina è eseguita a file su terreno sistemato a porche (circa 80 cm) per favorire lo sgrondo delle acque e per ridurre i problemi di tipo fitosanitario. Le varietà coltivate sono quelle del tipo bollsoso o semi-bollsoso; le cultivar principali sono attualmente Ritmo, Spargo, Island, Nighthawk, Palaos e RS 1470. Sono effettuati, se necessari, interventi anti-peronosporici e un trattamento diserbante in post-emergenza. L'irrigazione, di soccorso per lo più, è a pioggia con impianti mobili (rotoloni).

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata è un elemento tecnico di fondamentale importanza, per i riflessi ambientali e merceologici. Di fatto, si tratta di trovare una soluzione tecnica in grado di combinare l'esigenza di ottenere un prodotto con foglie verde-scuro ed elevata bollsità (caratteristiche influenzata positivamente dall'N) e quella di rispettare i limiti imposti dal Reg. C.E. 1258/2011 al contenuto fogliare di nitrati e i vincoli ambientali di varia natura, soprattutto in tema di salvaguardia delle risorse idriche (Direttiva Nitrati; v. Cap. 1).

Il piano di concimazione azotata normalmente seguito dai coltivatori di spinacio in Val di Cornia prevede un intervento in presemina con fertilizzanti ternari misto-organici e 2-3 interventi in copertura con nitrato ammonico o nitrato di calcio, in funzione dell'andamento pluviometrico. L'ultimo concime è preferito per l'ultima concimazione poiché la maggiore disponibilità di Ca nelle fasi finali della coltura può migliorare la qualità e la tenuta post-raccolta del prodotto finale. In molti casi, l'intervento in pre-semina è effettuato non per ripristinare i livelli ottimali di N_{MIN} (pochissime aziende analizzano il terreno) ma per timore che una stagione particolarmente piovosa non consenta di fornire tempestivamente l'N alla coltura nei momenti di maggiore esigenza.

I coltivatori distribuiscono 120-160 kg/ha di concimi in base all'andamento pluviometrico. Le quantità massime ammesse dal DPI della Toscana sono 120 kg/ha sia di N sia di P_2O_5 , e 150 kg/ha di K_2O . Il DPI impone anche l'obbligo di un piano di concimazione formulato in base all'analisi del terreno. Nella maggior parte dei casi si tende a sovra-concimare, con evidenti ripercussioni dal punto di vista ambientale ed economico. Questo comportamento è generato dalla mancanza di conoscenze tecniche ed è favorito dall'elevato rapporto tra il valore del prodotto e il costo dei concimi. Non di rado, i terreni della zona sono sufficientemente ricchi in N minerale da rendere praticamente inutile la concimazione.

Box 10.1. Sintesi dei risultati delle prove sullo spinacio della Val di Cornia (Livorno)

Le produzioni erano comprese tra 17 e 26 t/ha a livelli ottimali di N nel terreno o tra 4 e 16 t/ha a livelli sub-ottimali di N nella zona radicale, con un *harvest index* medio del 90%.

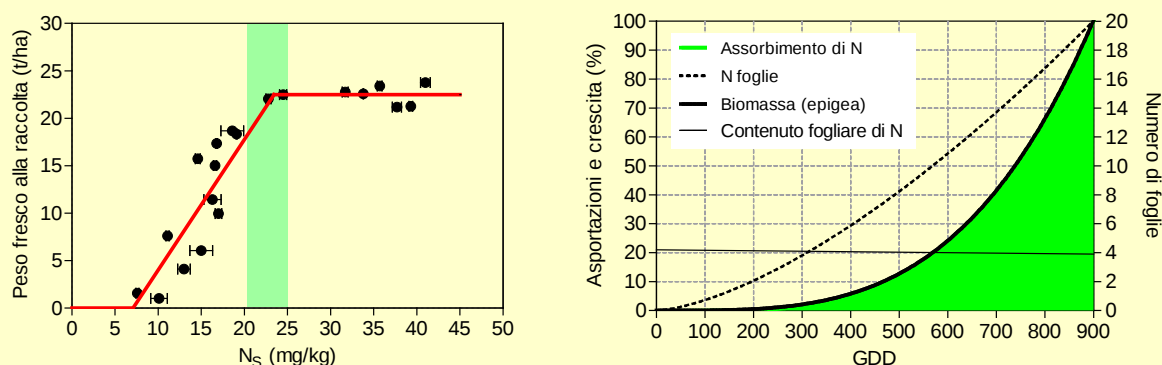
Il contenuto fogliare di sostanza secca alla raccolta oscillava tra 9 e 12%, con una media intorno al 11% per le tesi coltivate a livelli ottimali di N.

La produzione diminuiva linearmente con concentrazioni di N_{MIN} al di sotto di 20 mg/kg.

Il contenuto di N fogliare tendeva a diminuire leggermente passando dallo stadio della 3-4^a foglia vera a quello della 20-25^a foglia (raccolta). A questo stadio, avveniva la raccolta e il contenuto fogliare di N variava tra 3,2 e 4,4% (peso secco), con un valore medio di 3,9% per le tesi coltivate a livelli ottimali di N. Quindi, considerando un HI del 90% ed un contenuto fogliare di sostanza secca medio del 10%, le asportazioni unitarie sono pari a 3,6 – 4,7 kg N/t di prodotto utile.

Il contenuto fogliare di nitrati alla raccolta oscillava tra 400 e 1100 mg/kg p.f. con un valore medio intorno a 800 mg/kg p.f., ben al di sotto dei limiti (3500 mg/kg p.f.) imposti dal Reg. C.E. 1258/2011. Quindi, la coltura non presenta particolari rischi dal punto di vista del contenuto di nitrati nel prodotto messo in commercio.

L'andamento tipico della crescita (accumulo di sostanza secca e numero di foglie) e dell'asportazione di N è riportato nella figura sottostante.



I valori sono espressi in termini percentuali per la crescita e l'assorbimento di N e in funzione dei GDD. Il grafico considera una coltura di 100 giorni (900 GDD) con una produzione media di 20 t/ha, un assorbimento totale di N di 78 kg/ha e un contenuto di N fogliare alla raccolta di 3,9%. Dal grafico emerge che circa il 50% dell'N asportato dalla coltura è assorbito nel periodo tra la semina (emergenza) e la comparsa della 10^a foglia vera (750 GDD).

A sinistra, la produzione (biomassa fresca calcolata rispetto a valori di temperatura e radiazione di un ciclo colturale medio) dello spinacio coltivato in Val di Cornia in funzione della concentrazione di N_{MIN} nel terreno. Il contenuto ottimale si aggira tra 20 e 25 mg/kg (terreno secco). A destra, la curva di crescita e di asportazione dell'N in funzione dei gradi-giorno.

In uno studio effettuato dall'Università di Pisa nella stagione autunno-invernale del 2007-2008 in Val di Cornia non sono state osservate differenze significative nella produzione (mediamente, 17 t/ha, sostanza fresca) tra le colture di spinacio non concimate e quelle concimate con dose variabili da 80 fino a 160 kg/ha. Questi risultati sono spiegati dall'elevata concentrazione di N_{MIN} nel terreno, che in alcuni casi raggiungeva addirittura 35-40 mg/kg, pari a circa 150-170 kg/ha (considerando una profondità radicale di 30 cm e un terreno sabbioso). È questa una dotazione di N più che sufficiente per colture che raramente producono più di 15-20 t/ha di prodotto fresco e quindi asportano non più di 60-90 kg/ha. L'analisi dei dati raccolti nell'ambito del Progetto AZORT ha consentito di costruire la curva dose-risposta riportata nel Box 10.1. Il grafico mostra la relazione tra la produzione e la concentrazione di N_{MIN} : il valore ottimale è compreso tra 20 e 25 mg/kg.

Protocollo per la concimazione azotata

Il protocollo tiene conto sia delle pratiche adottate dalle aziende della Val di Cornia sia dei risultati delle prove sperimentali condotte dall'Università di Pisa (Box 10.1) e prevede:

- 1) il calcolo del quantitativo totale (dose) di N da distribuire in pre-semina e/o in copertura per la concimazione di arricchimento (per ripristinare eventualmente il livello minimo di N_{MIN}) e di mantenimento (per compensare le eventuali deficienze evidenziate dal bilancio dell'N nel terreno);
- 2) il frazionamento della distribuzione in copertura;
- 3) la scelta dei fertilizzanti.

Determinazione della dose

La dose è determinata usando il software CAL-FERT, che richiede l'inserimento di:

- analisi del terreno (tessitura, contenuto minerale di NPK, contenuto di sostanza organica e suo rapporto C/N, calcare totale, ecc.);
- coltura da concimare;
- data di semina/trapianto e raccolta previste;
- produzione attesa;
- precessione colturale (tipologia, data di interrimento dei residui e produzione realizzata) e concimazioni organiche precedenti la semina/trapianto;
- dati meteo o, se non disponibili, la provincia dove viene allestita la coltura, in quanto il software ha un database climatico;
- volume irriguo e contenuto minerale di NPK nell'acqua di irrigazione.

Nella Tab. 10.2 si riportano le dosi di N da distribuire in diverse condizioni di coltivazione (scenari) differenti per resa produttiva, andamento pluviometrico e contenuto di N_{MIN} nel terreno. I calcoli sono stati effettuati considerando una coltura seminata nella prima decade di ottobre e raccolta nella prima decade di gennaio (90 giorni).

Distribuzione dell'N in copertura

Mentre il P e il K possono essere somministrati solo in presemina, l'N deve essere frazionato il più possibile per seguire meglio il ritmo di assorbimento e ridurre la lisciviazione

del nitrato causata dalle piogge. L'eventuale concimazione di arricchimento per riportare il livello di N_{MIN} sui valori ottimali (22,5 mg/kg) avviene prima della semina, quando potrebbe essere opportuno distribuire anche parte della dose per la cosiddetta concimazione di mantenimento (v. avanti), oltre al P e K.

I protocolli per la distribuzione delle dosi di N per la concimazione di arricchimento e di mantenimento (Tab. 10.3) sono state definiti per diversi scenari agronomici e in base alla curva di crescita e di assorbimento dell'N. Gli scenari sono stati scelti in base alla dose di N, la lunghezza del ciclo e il contenuto iniziale di N_{MIN} . L'epoca degli interventi è indicata come stadio fenologico (numero di foglie vere e numero indicativo di giorni dalla semina). I protocolli sono stati identificati seguendo alcuni criteri:

1. Occorre ridurre il più possibile gli interventi in copertura in base a considerazioni economiche e logistiche; si prevedono al massimo 4 interventi in casi particolari, cioè per cicli lunghi (>90 giorni) e valori elevati sia della dotazione iniziale di N_{MIN} (>30 mg/kg) sia della dose (>80 kg/ha).
2. Nella zona, la dose minima di N è da distribuire di 25 kg/ha (corrispondente a circa 1 q di nitrato di ammonio e a 160 kg/ha di nitrato di calcio); è tecnicamente difficile e non conveniente distribuire dosi più basse. Quindi nel caso di dosaggi inferiori a 40 kg/ha è prevista un'unica distribuzione.
3. Non si apporta N in pre-semina se il contenuto iniziale di N_{MIN} è superiore a 30 mg/kg.
4. Non si apporta N in pre-semina se la coltura precedente è una coltura che attraverso la sua mineralizzazione apporta almeno 30 kg/ha di N; al contrario, nel caso di colture cerealicole precedenti, si fornisce sempre una dose di N in pre-semina per controbilanciare l'assorbimento di N durante la mineralizzazione dei residui colturali;
5. L'unico intervento, o quello con la maggior dose, è realizzato allo secondo stadio, quando la coltura ha assorbito circa il 25% dell'N contenuto nella biomassa alla raccolta.
6. Nel caso di dosaggi medio-alti (>40 kg/ha) e cicli brevi (<90 giorni) è preferibile una somministrazione dell'N per il mantenimento anche in pre-semina, che è un intervento semplice e comunque, sempre previsto, se non altro per la concimazione fosfo-potassica.

In sintesi, le applicazioni in copertura variano da 1 a 3 e aumentano con la dose di N e la lunghezza del ciclo colturale e al diminuire del livello iniziale di N_{MIN} nel terreno.

Ulteriori indicazioni riguardanti la concimazione di copertura sono le seguenti:

- Nel caso di un'elevata piovosità nelle settimane dopo la semina:
 - o i protocolli A e B sono sostituiti dal protocollo C in tutti gli scenari considerati;
 - o il prot. C è sostituito dal prot. E nel caso di dosi medio-alte di N e cicli lunghi.
- Nel caso di una piovosità molto scarsa nelle settimane dopo la semina:
 - o il protocollo C è sostituito dal protocollo A, in tutti gli scenari;
 - o il protocollo D ed E sono semplificati eliminando la prima somministrazione ed aumentando la seconda.
- Occorre evitare un intervento in copertura quando nei 3-4 giorni successivi alla data fissata sono previste piogge superiori a 20 mm.

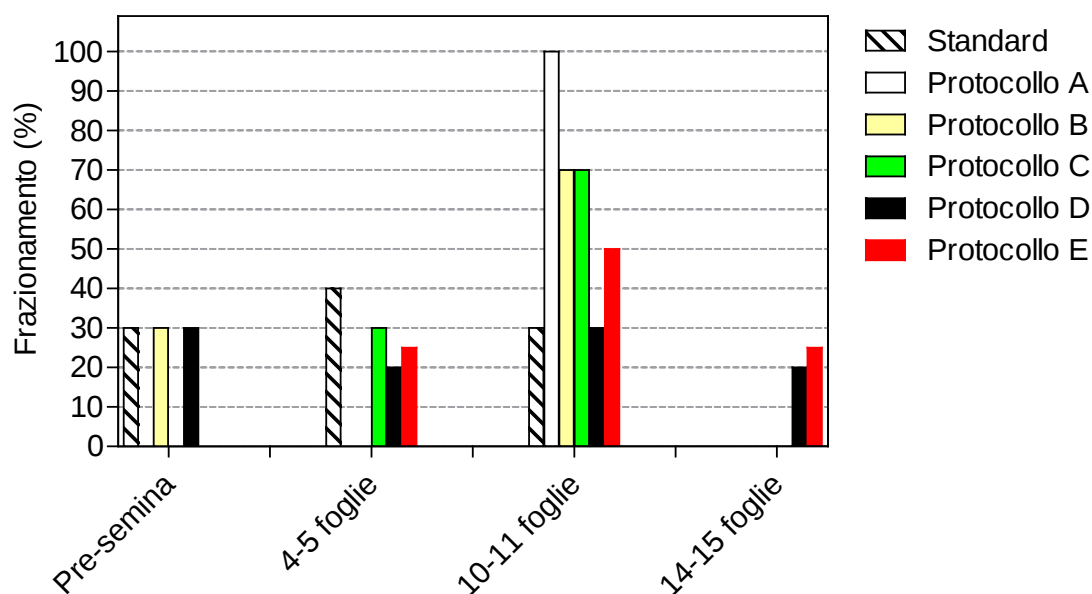
I protocolli sono illustrati nella Tab. 10.3 e nella Fig. 10.1.

Tabella 10.2. Dose di azoto (kg/ha) da distribuire a colture di spinacio da consumo fresco realizzate in Val di Cornia (ciclo autunnale di 80 gg) in diverse condizioni pedo-climatiche (terreno sabbioso o franco con bassa o alta piovosità) in funzione delle produzioni previste e della precessione colturale. I valori sono quelli calcolati con il software CAL-FERT, con i seguenti parametri: N organico pari a 0,7 g/kg; rapporto C/N pari a 10; coltura precedente pomodoro da industria (resa 100 t/ha) o grano tenero (3 t/ha), con interrimento dei residui. Le lettere indicate in parentesi indicano il protocollo di concimazione consigliato (vedi Tab. 10.3), mentre la mancanza della lettera indica che la concimazione azotata può nello specifico caso essere omessa.

Resa (t/ha)	Terreni poco dotati ($N_{MIN}= 5$ mg/kg) bassa piovosità (100 mm)			
	Terreno sabbioso (85% S; 5% A)		Terreno franco (45% S; 20% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
10.0	72 (C)	150 (B)	70 (C)	144 (B)
12.5	84 (C)	162 (B)	82 (C)	156 (B)
15.0	95 (C)	174 (D)	93 (C)	167 (B)
17.5	107 (C)	186 (D)	105 (C)	179 (B)
20.0	119 (C)	198 (D)	117 (C)	191 (B)
Resa (t/ha)	Terreni ben dotati ($N_{MIN}= 30$ mg/kg) bassa piovosità (100 mm)			
	Terreno sabbioso (85% S; 5% A)		Terreno franco (45% S; 20% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
10.0	0	40 (A)	0	34 (A)
12.5	0	51 (B)	0	46 (A)
15.0	0	63 (B)	0	58 (B)
17.5	0	75 (B)	0	70 (B)
20.0	9	87 (B)	8	82 (B)
Resa (t/ha)	Terreni poco dotati ($N_{MIN}= 5$ mg/kg) alta piovosità (300 mm)			
	Terreno sabbioso (85% S; 5% A)		Terreno franco (45% S; 20% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
10.0	120 (C)	175 (D)	91 (C)	158 (D)
12.5	132 (E)	186 (D)	103 (C)	170 (D)
15.0	144 (E)	198 (D)	115 (C)	182 (D)
17.5	156 (E)	210 (D)	127 (E)	194 (D)
20.0	167 (E)	222 (D)	139 (E)	205 (D)
Resa (t/ha)	Terreni ben dotati ($N_{MIN}= 30$ mg/kg) alta piovosità (300 mm)			
	Terreno sabbioso (85% S; 5% A)		Terreno franco (45% S; 20% A)	
	Pomodoro industria	Grano tenero	Pomodoro industria	Grano tenero
10.0	21 (A)	75 (C)	0	53 (C)
12.5	33 (A)	87 (C)	0	65 (C)
15.0	45 (C)	98 (C)	12	77 (C)
17.5	57 (C)	110 (D)	23 (A)	89 (C)
20.0	68 (C)	122 (D)	35 (A)	101 (E)

Tabella 10.3. Protocolli per la concimazione dello spinacio da consumo fresco in Val di Cornia in varie condizioni di coltivazione (scenari) definite in base alla dose di N da distribuire, alla durata del ciclo colturale e al contenuto iniziale di N_{MIN} nel terreno. I valori in corsivo rappresentano la % della dose totale di N da distribuire alla coltura (oltre all'eventuale concimazione di arricchimento). Il protocollo A prevede un'unica distribuzione e il protocollo B due distribuzioni, una delle quali in pre-semina; i protocolli C e B prevedono, rispettivamente, due o tre distribuzioni, tutte in copertura.

Dose (kg/ha)	Scenario		Protocollo	No. foglie [giorni dalla semina]			
				Pre- semina	4-5 [20/50]	10-11 [40/80]	14-15 [60/100]
	Ciclo (giorni)	N _{MIN} (mg/kg)		Percentuale			
<40	Breve (<70)	Basso (5-10)	A			100	
<40	Breve (<70)	Alto (>30)	A			100	
<40	Lungo (>90)	Basso (5-10)	A			100	
<40	Lungo (>90)	Alto (>30)	A			100	
40 - 80	Breve (<70)	Basso (5-10)	B	30		70	
40 - 80	Breve (<70)	Alto (>30)	C		30	70	
40 - 80	Lungo (>90)	Basso (5-10)	C		30	70	
40 - 80	Lungo (>90)	Alto (>30)	C		30	70	
>80	Breve (<70)	Basso (5-10)	B	30		70	
>80	Breve (<70)	Alto (>30)	C		30	70	
>80	Lungo (>90)	Basso (5-10)	D	30	20	30	20
>80	Lungo (>90)	Alto (>30)	E		25	50	25



Protocollo (distribuzioni)	Scenari
A (1 in copertura)	Dose <40 kg/ha
B (1 in pre-semina + 1 in copertura)	Dose >40 kg/ha; ciclo breve; [N _{MIN}] basso
C (2 in copertura)	Dose >40 kg/ha e [N _{MIN}] elevato (>30 mg/kg) oppure 40-80 kg/ha, ciclo lungo e [N _{MIN}] basso
D (1 in pre-semina + 3 in copertura)	Dose >150 kg/ha; ciclo lungo, [N _{MIN}] basso; coltura precedente depauperatrice
E (3 in copertura)	Dose >80 kg/ha; ciclo lungo, [N _{MIN}] alto

Figura 10.1. Protocolli per il frazionamento della dose di N da distribuire per la concimazione di mantenimento dello spinacio da consumo fresco coltivato in Val di Cornia (Livorno). Tra i protocolli è stato incluso quello normalmente usato dai coltivatori in zona, che normalmente distribuiscono N sia in pre-semina (30%) sia in copertura (40% allo stadio di 4-5 foglie; 30% allo stadio di 10-11 foglie). Per i diversi protocolli sono indicati le condizioni di applicazione (scenari) definite in base alla dose di N da distribuire, alla durata del ciclo colturale e al contenuto iniziale di N_{MIN} nel terreno.

Scelta dei fertilizzanti

Per la concimazione in pre-semina sono preferibili i concimi misti-organici, che in genere non contengono N nitrico ma solo N ammoniacale, ureico e organico. Per gli interventi in copertura sono consigliati il nitrato d'ammonio, in cui una parte dell'N (in forma nitrica) è prontamente disponibile per la coltura. Nel caso di due o tre applicazioni, quella finale dovrebbe essere realizzata con nitrato di calcio, poiché il Ca esalta le caratteristiche qualitative e la conservazione post-raccolta del prodotto.

10.4. SPINACIO DA INDUSTRIA IN EMILIA-ROMAGNA²¹

Informazioni generali

In Emilia-Romagna, lo spinacio da industria è coltivato tipicamente in una area compresa fra le provincie di Ravenna e di Ferrara nei comuni di Ravenna, Alfonsine, Sant'Alberto, Savarna, San Bartolo, Carraie, S. Stefano, Longana e Comacchio. È una delle orticole da industria maggiormente diffuse oltre a bieta da taglio, e cicoria, pisello, fagiolo, fagiolino e pomodoro. Insieme a queste colture costituisce l'ossatura delle aziende orticole che per superficie, professionalità ed età degli addetti risultano sicuramente "vitali" e in crescita sul territorio. Rappresenta quindi un importante fonte di reddito per gli agricoltori.

Le condizioni pedoclimatiche, caratterizzate da terreni sciolti o di medio impasto, sono favorevoli alla coltivazione e la disponibilità di acqua irrigua consente rese elevate. Il clima è influenzato dalla vicinanza al mare pertanto non si registrano mai gli abbassamenti termici delle aree più interne. La piovosità è superiore rispetto alle fasce più interne e lontane dal mare, tuttavia elevato è il ricorso all'irrigazione. Il livello qualitativo del prodotto raccolto è garantito dalla adesione al DPI, che fissa i dosaggi ottimali di fertilizzanti e prodotti fitoiatrici per ottenere un prodotto conforme alle normative sanitarie. Negli ultimi anni si stanno sviluppando anche coltivazioni condotte col metodo biologico.

Nella zona interessata sono attualmente coltivati oltre 500 ha di spinacio da industria su un totale di 850 ha presenti in Emilia Romagna. Le superfici coltivate sono piuttosto stabili o tendenzialmente in crescita in quanto realizzate sulla base di contratti con l'industria di trasformazione. Le rese sono comprese fra le 12 t/ha e le 15 t/ha. Il prodotto viene coltivato sulla base di contratti con alcune industrie di trasformazione del surgelato di dimensione nazionale (es. Orogel, Fruttigel, ecc.). Il prodotto è qualitativamente pregevole per il colore uniforme e brillante, per la presenza di piccioli corti e sottili, per l'elevata consistenza del lembo fogliare, e l'assenza di fibrosità, per il sapore deciso e delicato. La coltivazione è diffusa sia su terreni a tessitura franco limosa che in quelli a tessitura franco sabbiosa o sabbiosa.

Le raccolte sono programmate in primavera ed in autunno, mentre in estate ed inverno sono sospese. Lo spinacio si semina quindi in maniera scalare: a partire da fine agosto fino a metà settembre per raccolte in ottobre e inizio novembre; in ottobre e novembre per raccolte

²¹ V. Tisselli

di fine marzo-inizio aprile; dai primi di gennaio fino a fine aprile per raccolte da aprile fino alla fine di maggio. Vengono impiegate seminatrici per ortaggi di tipo meccanico o pneumatico; nelle coltivazioni convenzionali la semina viene eseguita in piano a file equidistanti e normalmente vengono applicati trattamenti diserbanti, antiperonosporici ed insetticidi. La coltura è posizionata prevalentemente come intercalare in successione a pomodoro (FE) oltre a mais, a cereali autunno-vernini o a pisello da industria (Ra) e prima di orticole come pomodoro (FE) o fagiolino (RA). La monosuccessione è di fatto praticata limitatamente e non è ammessa dal Disciplinare di produzione integrata.

Per quanto concerne l'assortimento varietale vengono utilizzate cultivar autunno-invernali per le semine di fine estate-autunno (agosto-ottobre) e produzioni autunno-invernali. Le cultivar primaverili-estive, invece, si seminano in primavera (marzo-aprile) per produzioni primaverili-estive. È necessario che le varietà presentino, oltre alla tolleranza alla pre-fioritura, foglie lisce di forma ovale-rotonda o appuntite, di colore verde scuro e di buona consistenza. Il sesto di impianto prevede una distanza tra le file di 15-25 cm e sulla fila di 2,8 – 3,5 cm, con una densità di semina di 1,5 – 2,5 milioni di semi per ettaro (30-40 kg/ha).

Protocolli di concimazione azotata

Nell'area considerata, per motivi di adesione ai disciplinari di produzione integrata, esistono delle norme da rispettare al momento di effettuare la concimazione. In particolare l'azienda deve disporre delle informazioni relative alle caratteristiche chimico-fisiche del terreno che ospita la coltura. Tali caratteristiche sono ricavabili da “Catalogo dei suoli” disponibile su www.suolo.it. L'azienda è tenuta a redigere un piano di fertilizzazione analitico (v Programma per la formulazione del piano di fertilizzazione - <http://www.ermesagricoltura.it/Sportello-dell-agricoltore/Come-fare-per/Produrre-nel-rispetto-dell-ambiente/Fare-agricoltura-integrata-produzioni-vegetali/Disciplinari-di-produzione-integrata/Norme-general-2013>), oppure può adottare il modello semplificato somministrando una dose standard di 150 kg/ha (per produzioni di 16-24 t/ha).

Nel primo caso, la dose deve essere calcolata tenendo conto di una serie di fattori:

- valore ottimale di N_{MIN} , P_2O_5 e K_2O ;
- analisi del terreno (tessitura, N_{MIN} , C/N, contenuto di sostanza organica, calcare attivo, ecc.);
- precessione colturale e concimazioni organiche precedenti la semina;
- profondità radicale che fornisce un'indicazione del volume di terreno esplorato;
- dati meteo o, se non disponibili, la provincia dove viene allestita la coltura, in quanto il software ha un database climatico;
- volume irriguo che tiene conto della tessitura del terreno e della capacità di campo;
- concentrazione di N nell'acqua irrigua;
- resa stimata sulla base di dati storici aziendali o territoriali.

Nel caso del modello semplificato, la dose standard di N (150 kg/ha) può essere diminuita o aumentata (al massimo di 40 kg/ha) in funzione delle condizioni colturali e seguendo un piano semplificato come quello riportato nella tabella 10.4.

Tabella 10.4. Modello semplificato per il calcolo della dose di azoto da distribuire allo spinacio da industria nell'Emilia Romagna in funzione delle condizioni pedo-climatiche e del livello produttivo stimato.

Quantitativo di azoto da sottrarre (-) o aggiungere (+) alla dose standard di 150 kg/ha in funzione delle condizioni colturali	
-20 kg: se si prevedono produzioni inferiori 16 t/ha;	+20 kg: se si prevedono produzioni superiori a 24 t/ha;
-15 kg: in caso di elevata dotazione di sostanza organica;	+15 kg: in caso di scarsa dotazione di sostanza organica;
-20 kg: in caso di apporto di ammendante alla coltura in precessione;	+20 kg: in caso di successione ad un cereale con paglia interrata;
-15 kg: in caso di successione a leguminosa annuale.	+15 kg: in caso di forte lisciviazione dovuta a surplus pluviometrico in specifici periodi dell'anno (es. pioggia superiore a 300 mm nel periodo ottobre-febbraio).
	Max: +40 kg/ha

L'apporto di N deve essere frazionato in presemina e in copertura in almeno due interventi se si apportano più di 100 kg/ha. Informazioni più dettagliate sono disponibili su www.ermesagricoltura.it. Altre prescrizioni del DPI dell'Emilia-Romagna sono le seguenti:

- il quantitativo totale di N da distribuire in pre-semina e in copertura deve perseguire l'obiettivo di fornire alla coltura la quantità necessaria a garantire il regolare sviluppo fino alla raccolta. Occorre tener conto che una parte di N viene apportata con le precipitazioni, una parte attraverso la mineralizzazione della sostanza organica. Per contro oltre alle quantità asportate dalla coltura, si deve tenere conto delle perdite per lisciviazione dovute alle irrigazioni frequenti.
- La distribuzione deve essere frazionata pre-semina e in copertura per rendere l'N disponibile nel momento di massimo fabbisogno evitando che vi sia una quantità eccessiva di N residuo al termine della coltura, che potrebbe andare perso per lisciviazione.
- La tipologia di fertilizzante deve tenere conto della lunghezza del ciclo e della necessità di assorbimento rapido, tenuto conto del ciclo medio-breve della coltura.

Nell'ambito di AZORT è stata condotta per il triennio 2007-2008-2010 una sperimentazione tesa a mettere in luce le esigenze di concimazione e i suoi effetti su una serie di parametri chiave. L'attività è stata condotta presso l'azienda sperimentale M. Marani di Ravenna su terreno franco di tessitura con contenuto di argilla, limo e sabbia pari rispettivamente a 20%, 42% e 38%. Basso è risultato il contenuto di sostanza organica (1,2‰) mentre era normale il contenuto in N totale, molto basso quello in P assimilabile (<5 mg/kg) ed elevato quello di K assimilabile (210 mg/kg). Le semine sono sempre state

effettuate nel mese di settembre, la piovosità è variata a seconda degli anni. Le dosi saggiate erano 60, 130 e 200 kg/ha oltre ad un doppio controllo, cioè un testimone non-concimato ed un altro né concimato né irrigato. Dalle prove è emerso che:

- una dose di N variabile fra i 60 e i 130 kg/ha sembrano sufficienti a garantire una buona resa produttiva, che ha superato 25-35 t/ha a seconda dell'annata;
- il contenuto di nitrati è stato influenzato dalla stagione ma non dal livello di concimazione di N (Fig. 10.2). Nel 2007, ad es., è stato molto più basso che negli altri due anni.

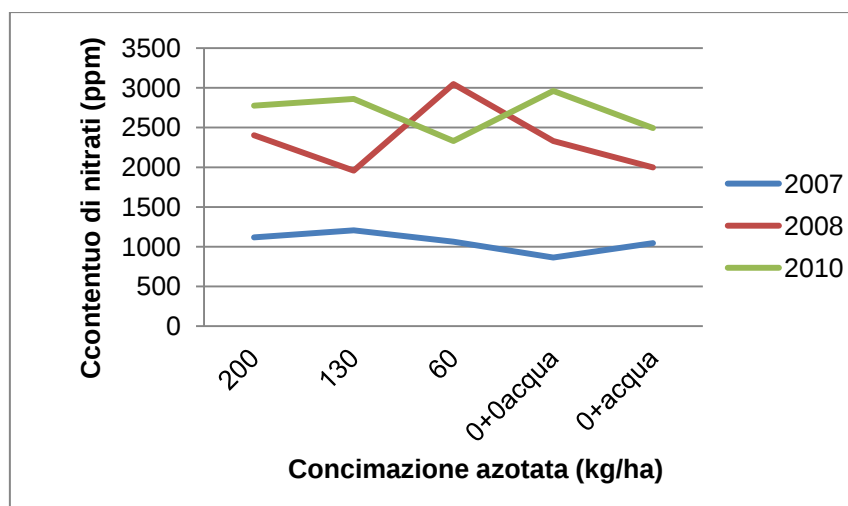


Figura 10.2. Effetto della concimazione azotata sul contenuto di nitrati nello spinacio coltivato in Emilia-Romagna. Le prove prevedevano un testimone non-concimato ma irrigato (0+acqua) e un secondo trattamento di controllo né concimato né irrigato (0+0 acqua).

Il grafico inerente il contenuto di nitrati nelle foglie ci mostra infine come sia maggiore la differenza dei valori negli anni, in funzione degli andamenti stagionali, della piovosità e di conseguenza del cielo coperto piuttosto che della quantità di N apportato alla coltura. Nelle situazioni più difficili si sfiorano i 3000 mg/kg p.f. restando nei limiti suggeriti dalla Commissione Europea.

10.5. SPINACIO DA INDUSTRIA IN PUGLIA²²

Informazioni generali

Nella nostra Penisola, le aree principalmente vocate per la produzione dello spinacio da industria sono la Romagna, le zone costiere delle Marche e dell'Abruzzo, la pianura Pontina nel Lazio, e la Piana di Foggia in Puglia. In quasi tutti questi areali sono presenti impianti di trasformazione (surgelazione e, in misura minore, disidratazione) che assicurano il completamento del processo di lavorazione in tempi brevi e, grazie alla vicinanza tra i campi

²² S. Canali e C. Ciaccia

di coltivazione e gli stabilimenti, a costi relativamente contenuti. Da questo punto di vista, tuttavia, la pianura foggiana costituisce un'eccezione in quanto in questo specifico areale non sono presenti grandi impianti di trasformazione e il prodotto deve essere trasportato altrove, in genere nel Lazio, in Abruzzo o in Romagna. Nonostante i maggiori costi di trasporto e le più articolate procedure logistiche che la distanza tra campo ed stabilimento implicano, le industrie trasformatrici sono comunque molto interessate alla coltivazione dello spinacio da industria in questo areale. Infatti, nel periodo di pieno inverno (novembre – marzo), la coltivazione in areali più settentrionali è più difficoltosa e associata a maggiori rischi di ottenere produzioni quali-quantitative non soddisfacenti, mentre la pianura foggiana permette di soddisfare comunque le richieste di prodotto grezzo. In pieno inverno, per effetto delle temperature relativamente basse, la lunghezza del ciclo di coltivazione dello spinacio può raggiungere i 120 giorni. Poiché la coltura è presente durante tutto l'inverno, tali cicli vengono anche denominati *overwinter* dagli addetti ai lavori.

Il clima dell'areale foggiano è classificato dall'organizzazione UNESCO-FAO come di tipo “termomediterraneo accentuato”, con temperature minime invernali che possono scendere occasionalmente sotto lo 0°C e temperatura massime estive che raggiungono facilmente i 40°C. Le piogge sono maggiormente distribuite in autunno ed in primavera e la media climatica (ultimi 54 anni) del periodo ottobre – marzo è pari a 325 mm. Pertanto, tranne che in annate particolarmente siccitose, le irrigazioni sono sporadiche e necessarie in genere solo all'inizio della stagione di coltivazione (ottobre).

Nella zona, i suoli sono generalmente di tipo vertico, di origine alluvionale (classificabili sovente come *Fine, Mesic, Typic Chromoxerert* secondo la *Soil Taxonomy- USDA*) e presentano una tessitura franco-argillosa (con valori di sabbia intorno al 40%, di limo al 20% e di argilla del 30 – 35%), pH subalcalino (valori intorno al 7.5), buona dotazione di sostanza organica (2 %) e di N totale (1200 mg/kg).

La raccolta è meccanizzata e avviene mediante sfalcio con macchine dedicate, che non lasciano cadere il prodotto a terra e sono talvolta in grado di eseguire una prima cernita del prodotto dai corpi estranei eventualmente presenti nello spinacio. Il primo taglio, che può essere anche l'unico, presenta caratteristiche di maggiore qualità (foglie ampie, integre, con picciolo ridotto o assente) ed è destinato alle produzioni di maggiore pregio (es. surgelati a foglie intere). Il secondo taglio e quelli successivi (realizzati sporadicamente) sono caratterizzati da una minore qualità e valore e sono destinati a prodotti meno integri, commercializzati in genere con un “secondo marchio” o reimpiegati come semilavorati (es. tritati) per prodotti di V gamma.

Le produzioni commerciali variano in un ampio intervallo, dipendente dall'andamento stagionale, dalla fertilità del terreno, la tecnica colturale, e si attestano intorno a valori di 10 – 20 t/ha. Il rapporto tra la produzione commerciale e totale (*harvest index*) è di solito minore di quella ottenuto nello spinacio per il consumo fresco, raggiungendo al massimo il 70%. Tale rapporto è altamente condizionato dall'altezza del taglio alla raccolta, che può essere modulata in funzione della qualità del prodotto commerciale che si vuole ottenere (rapporto tra lembo fogliare e picciolo).



Coltura di spinacio da industria (surgelazione) nella Piana di Foggia.

Nutrizione e concimazione azotata

Come per tutti gli ortaggi da foglia, la concimazione azotata condiziona in maniera rilevante la resa della coltura e la qualità del prodotto. Essa riveste un ruolo chiave in particolare proprio nei cicli di coltivazione *overwinter*, dove la lunghezza del ciclo vegetativo e il periodo invernale (temperature ridotte ed elevate piovosità) rendono la tecnica particolarmente difficile.

In tale situazione, onde evitare che la disponibilità di N divenga un fattore limitante per la produzione, gli agricoltori tendono a somministrare dosi di concimazione azotata generalmente molto alte, talvolta fino a 300 kg N/ha. Tale approccio rischia di determinare l'apporto di quantità eccessive di N, con aggravii dei costi di produzione, rischi per la qualità del prodotto (lo spinacio tende naturalmente ad accumulare nitrati nei tessuti destinati al consumo, cioè foglie e steli) e di perdita di nitrati non utilizzati che possono rimanere nel terreno ed essere lisciviati con le acque di percolazione. In tali circostanze, le azioni volte a valutare l'effetto della riduzione delle dosi di concimazione azotata sulla resa della coltura, sulla qualità del prodotto ai fini della sua trasformazione industriale e sull'accumulo dei nitrati nel terreno assumono un significato di particolare rilievo.

Il piano di concimazione azotata seguito nell'areale foggiano prevede la distribuzione della dose totale di concime azotato in 2-3 interventi. Il primo intervento è eseguito alla preparazione del letto di semina, il secondo in corrispondenza della fase di seconda coppia di foglie vere ed il terzo, se eseguito, all'inizio della fase di crescita rapida della *canopy*, all'incirca 70 giorni dopo la semina.

Oltre alla definizione della dose totale di N, la decisione riguardo al numero di interventi di concimazioni (due oppure tre) è certamente uno degli aspetti della tecnica di maggior rilievo. I vantaggi dell'eseguire solo due interventi risiedono principalmente nella

riduzione dei costi di distribuzione e nelle eventuali difficoltà operative del terzo intervento, che dovendo essere eseguito in un periodo piuttosto piovoso e con possibilità di basse temperature, potrebbe risultare meno efficace. Di contro, come è ben noto, il frazionamento della distribuzione del concime azotato determina in genere una maggiore efficienza di utilizzazione dell'elemento nutritivo, con maggiori vantaggi economici, riducendo al contempo il rischio ambientale.



Raccolta meccanizzata dello spinacio da industria nella Piana di Foggia.

Il tipo di concime generalmente più utilizzato è l'urea, per il minor costo dell'unità fertilizzante. Sovente gli agricoltori prediligono la formulazione cosiddetta *prilled*, che sembrerebbe evitare danni da contatto alle foglie talvolta associati alla distribuzione in copertura del fertilizzante stesso. Per la distribuzione tardiva (terzo intervento), come nel caso di periodi che si preannunciano particolarmente freddi, vengono preferiti i concimi azotati nitrici (nitrato di calcio) o nitro-ammonicali (nitrato ammonico).

Protocolli per la concimazione azotata

Sulla base delle conoscenze disponibili e grazie agli approfondimenti che le sperimentazioni, condotte nell'ambito del progetto AZORT, è stato messo a punto un protocollo di fertilizzazione specifico per lo spinacio da industria coltivato in Puglia, nella piana di Foggia, valido per i suoli, il clima e i sistemi colturali che caratterizzano tale areale e che sono stati sopra descritti. Tale protocollo è stato presentato e discusso insieme agli agricoltori nel corso degli incontri tecnico-divulgativi organizzati nell'ambito delle attività di progetto.

Il protocollo consiste in un semplice sistema di supporto alle decisioni (Fig. 10.3) che consente, quando applicato, di identificare: la dose di concimazione azotata, il numero di interventi di distribuzione e la tipologia del concime da utilizzare.

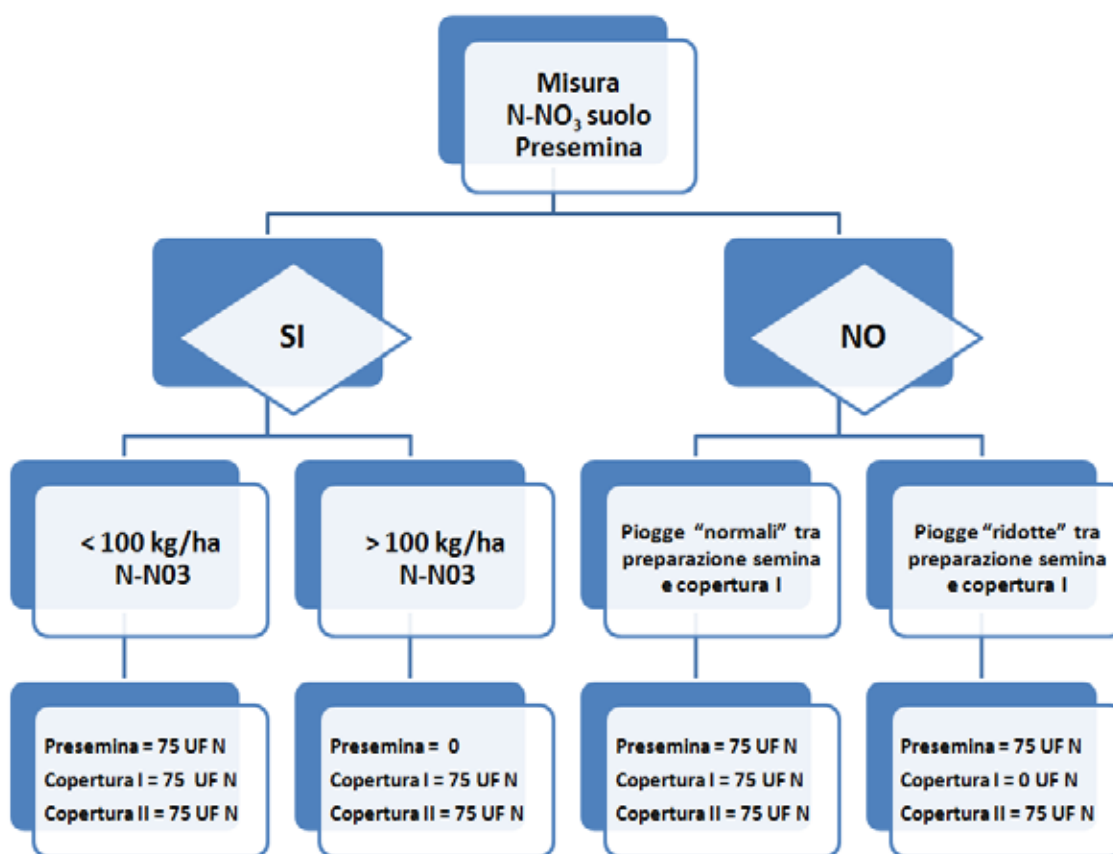


Figura 10.3. Sistema per il Supporto alle Decisioni (SSD) per la concimazione azotata dello spinacio da industria, valido per l'aerale della Piana di Foggia.

Il protocollo considera differenti scenari che si differenziano in relazione alla possibilità di poter eseguire o meno la misura dell'N nitrico presente nel suolo alla semina e in funzione della piovosità durante la prima metà del ciclo di coltivazione dello spinacio (tra la semina e la prima concimazione di copertura). Lo scenario che prevede la misura dell'N nitrico del suolo alla semina è quello che consente di operare scelte più razionali e con più alte probabilità di successo dal punto di vista tecnico e di rispetto dell'ambiente e, pertanto, è largamente preferito e promosso. Tale misura, eseguita alla semina, consente di eliminare buona parte dell'aleatorietà dipendente dalla precessione colturale, dalla preparazione del letto di semina e dall'andamento climatico ad essa precedente. La metodologia analitica si basa su strumenti portatili, economici e di piccole dimensione che tecnici ed agricoltori possono facilmente ed efficacemente utilizzare. La metodica standardizzata per la raccolta del campione di terreno e per l'analisi del nitrato è descritta nel Box 10.2.

Box 10.2. Metodica per l'analisi del contenuto di nitrati nel terreno

A. Campionamento del terreno

Effettuare un campionamento non sistematico dei campioni elementari, individuando i punti di prelievo lungo un percorso idealmente tracciato a Ovest o a Sud nell'area da campionare;

Strumenti necessari: una trivella (diametro 5 cm); un secchio (volume minimo 10 L); un telo asciutto e pulito di almeno 2 m²; dei sacchi di plastica dotati di sistema di chiusura, di almeno 1 L di capacità;

Raccogliere, dalla medesima unità di campionamento, almeno 25 campioni elementari e non meno di 4 ad ettaro, man mano che questi vengono prelevati verranno posti nel secchio, il contenuto del quale (definito campione globale) verrà poi rovesciato sul telo (posto su una superficie piana) e rimescolato fino ad omogeneizzazione. La profondità di campionamento sarà di circa 30 cm e, al massimo, pari alla profondità di lavorazione. Prelevare due (o più) "carote" successive nel medesimo punto, inserendo cioè la trivella nel medesimo foro, fino al raggiungimento della profondità prevista. Dopo omogeneizzazione del campione globale, questo dovrà essere ridotto in un campione finale, del peso di circa 1 kg. Questo ultimo viene inoltrato al laboratorio per le analisi o viene utilizzato per la misura diretta dell' N-NO_3^- del suolo;

Il campione finale dovrà essere posto in un imballaggio asciutto, pulito e che non interagisca col campione e, quindi, etichettato. Buona norma è quella di inserire il campione in un doppio sacchetto di materiale plastico, porre una prima etichetta tra i due sacchetti (etichetta di sicurezza) ed un'altra (con le medesime informazioni, definita etichetta di lettura) legata alla chiusura esterna del sacchetto. Le etichette dovranno riportare le informazioni che consentano di individuare con certezza l'area di campionamento e la data e dovranno essere scritte a matita di grafite.

B. Determinazione rapida del nitrato (NO_3^-) mediante MERCK RQflex®.

La determinazione si basa sull'estrazione in acqua del nitrato dal terreno e la sua successiva determinazione, per riflettanza, con lo strumento portatile Merck RQFlex®, usando le strisce reattive MERK Nitrat-test cod. 1.16995.0001 (range 3 – 90 mg/L NO_3^-);

Apparecchiatura e reagenti: vaglio per terreni a 2 mm; bilancia con sensibilità pari a 0.1 g;

bottiglia in plastica da 250 mL con tappo a vite; bicchiere da laboratorio da 200 mL; cilindro tarato da 100 mL; imbuti per polveri; filtri in carta tipo veloce (a pieghe); spatola; acqua distillata.

Subito dopo il prelievo, i campioni sono vagliati a 2 mm, ponendo particolare attenzione nell'eliminare eventuali radici, altri tessuti vegetali e/o mesofauna eventualmente presente.

Nella bottiglia di plastica da 250 mL a 10 g di terreno si aggiungono 100 mL di acqua distillata. La bottiglia viene tappata e agitata per 2' manualmente mediante un movimento ampio e regolare dell'avambraccio, facendo attenzione a che ad ogni scuotimento si abbia la completa movimentazione di tutta la sospensione acqua-terreno presente all'interno della bottiglia. Si lascia quindi riposare per alcuni secondi e si filtra su carta. La soluzione filtrata, limpida, è utilizzata per la determinazione, con lo strumento Merck RQFlex. Lo strumento fornisce la concentrazione del NO_3^- nell'estratto in mg/L e tale risultato deve essere moltiplicato per il fattore di diluizione e di conversione tra nitrato ed N nitrico, per la densità apparente del terreno e per la profondità di esplorazione delle radici dello spinacio (0.3 m), si ottiene:

$$\text{N-NO}_3 \text{ terreno [kg/ha]} = \text{lettura strumentale} \times 10.$$

BIBLIOGRAFIA

- Assimakopoulou, A., 2006. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Sci. Hortic.* 110, 21-29.
- Biemond, H., Vos, J., Struik, P.C., 1996. Effects of nitrogen on accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen of vegetables .3. Spinach. *Neth. J. Agric. Sci.* 44, 227-239.
- Canali, S., Nardi, P., Alianello, A., Cardellicchio, M., Benetti, A., Granier, A., Brinchi Giusti C., 2001. La fertilizzazione dello spinacio da industria. *L'Informatore Agrario* 25, 33-37.
- Canali, S., Montemurro, F., Tittarelli, F., Masetti, O., 2008. Effect of nitrogen fertilisation reduction on yield, quality and N utilisation of processing spinach. *J. Food Agric. Environ.* 6, 242-247
- Canali, S., Montemurro, S., Tittarelli, F., Masetti, O. 2011. Is it possible to reduce nitrogen fertilization in processing spinach? *J. Plant Nutr.* 34, 534-546.
- Chen, B.M., Wang, Z.H., Li, S.X., Wang, G.X., Song, H.X., Xi-Na, W., 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.* 167, 635-643.
- Citak, S., Sonmez, S., 2009. Mineral contents of organically and conventionally grown spinach (*Spinacea oleracea* l.) during two successive seasons. *J. Agric. Food Chem.* 57, 7892-7898.
- Citak, S., Sonmez, S., 2010. Effects of conventional and organic fertilization on spinach (*Spinacea oleracea* L.) growth, yield, vitamin C and nitrate concentration during two successive seasons. *Sci. Hortic.* 126, 415-420.
- Elia A., Santamaria P., Serio F., 1998. Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach. *J. Sci. Food Agric.*, 76, 341-346.
- Gulser, R., 2005. Effects of ammonium sulphate and urea on NO_3^- and NO_2^- accumulation, nutrient contents and yield criteria in spinach. *Sci. Hortic.* 106, 330-340.
- Rodríguez-Hidalgo S, Artés-Hernández F, Gómez PA, Fernández JA, Artés F., 2010. Quality of fresh-cut baby spinach grown under a floating trays system as affected by nitrogen fertilisation and innovative packaging treatments. *J. Sci. Food Agric.* 90(6), 1089-97.
- Khan, N.K., Watanabe, M., Watanabe, Y., 1999. Effect of different concentrations of urea with or without nickel addition on spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth under hydroponic culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45, 569-575.
- Lasa, B., Frechilla, S., Lamsfus, C., Aparicio-Tejo, P.M., 2001. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. *Sci. Hortic.* 91, 143-152.
- Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., Kopsell, D.E., 2007. Nitrogen levels influence biomass, elemental accumulations, and pigment concentrations in spinach. *J. Plant Nutr.* 30, 171-185.
- Magnifico, V., Bianco, V.V., Sarli, G., Elia, A., De Boni, A., Santamaria, P., 1992. Results of the second five year period of an intensive production schedule of four vegetable crops for processing. 1: Influence of herbicides and nutrition on crop yield. *Rivista di Agronomia* 26, 88-96.

- Masetti, O., Alianello, A., Lopedota, O., Tittarelli, F., Montemurro, F., Canali, S., 2009. Effetti della riduzione della concimazione azotata sulla produzione e sulla qualità dello spinacio da industria. *Orticoltura di qualità per la grande distribuzione organizzata*. Foggia, 30 aprile 2009.
- Masetti, O., Salvatori, S., Tittarelli, F., Montemurro, F., Canali, S., 2009. Meno azoto su spinacio con vantaggio di costi e ambiente. *L'Informatore Agrario* 13, 54-57.
- Paradiso, R., De Pascale, S., Barbieri, G., 2001. Effetti del regime irriguo e delle dosi di azoto su consumi idrici, resa e contenuto di nitrati in spinacio. *Italus Hortus* 8, 14-21.
- Rodríguez-Hidalgo S, Artés-Hernández F, Gómez PA, Fernández JA, Artés F., 2010a. Quality of fresh-cut baby spinach grown under a floating trays system as affected by nitrogen fertilisation and innovative packaging treatments. *J Sci. Food Agric.* 90(6), 1089-97.
- Rodríguez-Hidalgo, S., Artes-Hernandez, F., Gomez, P.A., Fernandez, J.A., Artes, F., 2010b. Quality of fresh-cut baby spinach grown under a floating trays system as affected by nitrogen fertilisation and innovative packaging treatments. *J. Sci. Food Agric.* 90, 1089-1097.
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., Todaro, E., 1999. A survey of nitrate and oxalate content in retail fresh vegetables. *J. Sci. Food Agric.*, 79, 1882-1888.
- Stagnari, F., Di Bitetto, V., Pisante, M. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Sci. Hortic.* 114, 225-233.
- Tesi, R., 2010. *Orticoltura Mediterranea Sostenibile*. Pàtron Editore, Bologna (Italia).
- Wang, Z.H., Li, S.X., 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *J. Plant Nutr.* 27, 539-556.
- Welch, R.M., 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant Soil* 247, 83-90.
- Zhang, Y.P., Lin, X.Y., Zhang, Y.S., Zheng, S.J., Du, S.T., 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. *J. Plant Nutr.* 28, 2011-2025.

Capitolo 11 – ZUCCHINO

Giuseppe Colla, Maria Teresa Cardarelli, Stefania De Pascale

11.1. INTRODUZIONE

Lo zucchini (*Cucurbita pepo* L., Fam. *Cucurbitaceae*) è un ortaggio introdotto in Europa dopo la scoperta dell'America coltivato in quasi tutte le regioni italiane sia in pieno campo che in serra. È presente sul mercato tutto l'anno grazie alle produzioni in serra realizzate soprattutto nel Lazio e in Sicilia. Della pianta si utilizzano il frutto immaturo e i fiori maschili. I frutti sono anche molto utilizzati dall'industria alimentare per la produzione di minestre e surgelati. Il frutto è apprezzato per il basso valore energetico, il buon contenuto di sali minerali (K e P) e l'alta digeribilità (Tesi, 2010). I frutti possono essere utilizzati a diversi stadi di sviluppo; in Italia si preferiscono frutti piccoli talvolta raccolti con la corolla per evidenziarne la freschezza (es. tipi verde chiaro costolati) mentre all'estero si utilizzano zucchini di media dimensione spesso di colore verde scuro.

Lo zucchini è una pianta erbacea annuale con stelo robusto e angoloso provvisto di cirri senza ramificazioni (cultivar ad alberello o striscianti) o con ramificazioni (cultivar a cespuglio). Le foglie sono picciolate e lobate con presenza o meno di marmorizzazioni e provviste di peli pungenti. È una specie monoica diclina, quindi con fiori femminili con ovario di forma rotonda o allungata e fiori maschili provvisti di lungo peduncolo sulla stessa pianta; i fiori maschili compaiono per primi alla base del fusto. L'impollinazione è entomofila e avviene nelle prime ore del mattino quando si aprono i fiori. Il frutto è un pepone costituito da una bacca carnosa uniloculare che a seconda della cultivar può essere rotondo o allungato di colore verde chiaro o scuro, giallo, bianco con o senza striature e costolature.

Lo zucchini ha elevate esigenze termiche, anche se inferiori rispetto alle altre cucurbitacee (es. melone, anguria). La germinazione avviene in 3-4 giorni a 25-30°C mentre sotto i 10°C la germinazione risulta inibita. La temperatura ottimale per la crescita e la fioritura è di 15-18°C durante la notte mentre di giorno si colloca tra i 24 e 28°C. La temperatura al di sotto della quale si arresta la crescita è di 10-12°C (temperatura minima biologica); la temperatura minima letale al di sotto della quale la pianta manifesta danni irreversibili è di 0-1°C.

Lo zucchini è una pianta a giorno indifferente (neutrodiurna), anche se il fotoperiodo lungo e le alte temperature (in estate) favoriscono la produzione di fiori maschili mentre le basse temperature e il fotoperiodo corto (primavera, autunno) riducono la produzione di fiori maschili e anticipano quella di fiori femminili. In coltura protetta, interessante risulta la possibilità di incrementare la produttività e precocità dello zucchini, in condizioni di elevata intensità luminosa, attraverso la concimazione carbonica apportando fino a 2.000 ppm di CO₂.

Le cultivar presenti sul mercato, costituite prevalentemente da ibridi F₁, si distinguono

in base al portamento della pianta (alberello, cespuglioso, strisciante), alla forma del frutto (allungato, allungato con collo ricurvo, clavato, tondo, appiattito), al colore del frutto (verde scuro, verde medio, verde chiaro, giallo, bianco), all'epidermide (liscia, sfaccettata, costoluta). Il colore stesso può inoltre essere uniforme, maculato (cioè con presenza di piccole chiazze più chiare del colore di base) o striato (con striature più chiare del colore di base). Una caratteristica di alcune cultivar (es. del tipo 'Romanesco'), è quella di avere corolle persistenti, che sono richieste da alcuni mercati come indice di freschezza.

Le tipologie più coltivate in Italia appartengono prevalentemente alla tipologia allungata, cilindrica, con colore variabile dal verde molto scuro al verde chiaro, con presenza o assenza di striature e maculature. Inoltre, le cultivar più diffuse soprattutto per le coltivazioni estive, sono caratterizzate dalla presenza di geni di resistenza/tolleranza a patogeni (es. oidio, 'Cucumber Mosaic Virus – CMV', 'Watermelon Mosaic Virus – WMV', 'Zucchini Yellow Mosaic Virus – ZYMV').

Lo zucchini è considerato una specie da rinnovo con ciclo primaverile-estivo in pieno campo ma può anche essere coltivata nelle aree irrigue del Centro-Sud Italia in secondo raccolto (impianto luglio-agosto). Lo zucchini è coltivato in serra per produzioni forzate con impianti anticipati (da gennaio in poi) o ritardati (da settembre in poi). In pieno campo si coltivano piante a portamento ad alberello o a cespuglio in file singole distanti 1,2 m tra le file e 0,8-1 m lungo la fila (densità di 0,8-1 pianta/m²) mentre in serra si preferiscono densità di impianto più elevate (1-1,5 piante/m²) utilizzando cultivar ad alberello coltivate in file binate (m 1,1 tra le bine 0,7 tra le file e 0,75 lungo la fila) con l'ausilio di sostegni. Molto utilizzata è la pacciamatura con film plastico soprattutto di colore nero che permette un efficace controllo delle infestanti, una riduzione delle perdite idriche per evaporazione e un incremento della temperatura del suolo con effetti positivi sulla precocità e sulla produttiva della coltura.

Lo zucchini necessita di un terreno profondo bene strutturato e pH compreso tra 5,5 e 7,8 (Tesi, 2010). È una pianta tollerante alla salinità con un valore soglia di conducibilità dell'estratto pasta satura del suolo, oltre il quale si verifica un calo della produzione, pari a 4,7 dS/m (Ayers e Westcot, 1985). Lo zucchini è una pianta con elevate esigenze di K e Ca. Nel complesso, le esigenze nutritive medie per tonnellata di prodotto sono pari a 3,8 kg di N, 1,6 kg di P₂O₅, 9,0 kg di K₂O, 8,2 kg di CaO e 1,1 kg di MgO. I ritmi di assorbimento degli elementi nutritivi variano nel corso del ciclo colturale e crescono in maniera proporzionale al crescere dell'accumulo di biomassa secca con valori più elevati nella fase di fioritura e ingrossamento dei peponidi. Per contro nelle prime fasi di crescita e in fase di avanzata produzione si riscontrano assorbimenti limitati.

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata influenza positivamente il vigore vegetativo e la produttività della coltura. Tuttavia apporti eccessivi di N determinano un elevato rigoglio vegetativo, incrementano la suscettibilità alle malattie fungine e determinano uno scadimento del valore nutrizionale dei peponidi (minor contenuto di vitamina C e maggior accumulo di nitrati). Inoltre, apporti eccessivi di N possono causare perdite dell'elemento per lisciviazione. La

produttività cresce all'aumentare delle disponibilità di N fino a un valore soglia oltre il quale non si verificano più incrementi di produzione al crescere della quantità dell'elemento. A titolo di esempio, Zotarelli e colleghi (2008) hanno riscontrato la mancanza di incrementi produttivi con apporti superiori a 145 kg/ha di N in una coltura di zucchini in secondo raccolto. Huet e Dettmann (1991) hanno osservato in zucchini coltivato su sabbia un incremento della produzione di peponidi fino a concentrazioni di nitrati nella soluzione pari a 14,5 mM.

Il ritmo di assorbimento dell'N varia durante la coltivazione con un picco durante la fase riproduttiva; per esempio Zotarelli *et al.* (2008) hanno riscontrato un picco di assorbimento di N di circa 3,0 kg/ha per giorno al 45° giorno dopo la semina.

La forma azotata influenza la produzione con una preferenza della forma nitrica nella fase vegetativa mentre nella fase riproduttiva la contemporanea presenza di N nitrico e ammoniacale stimola la fioritura (Haynes e Swift, 1991) e migliora la produttività dello zucchini (Chance *et al.*, 1999). Inoltre, apporti di N ammoniacale durante la fase riproduttiva migliorano alcune caratteristiche nutraceutiche del peponide riducendo l'accumulo di nitrati e incrementando il contenuto di polifenoli (Haynes e Swift, 1991). Risultati positivi sono stati riscontrati anche utilizzando urea in fertirrigazione durante la fase riproduttiva. L'apporto di N ammoniacale e ureico è inoltre consigliato in suoli alcalini in quanto determina un'acidificare della rizosfera con conseguente miglioramento della biodisponibilità dei micronutrienti (es. Fe, Zn, Mn) e del P. È stato tuttavia riscontrato che una concimazione a base di ammonio determina un minor accumulo di Ca, Mg e K nei frutti (Chance *et al.*, 1999). Le forme azotate a lento rilascio (es. N organico, concimi con inibitori dell'ureasi e della nitrificazione) si prestano ad applicazioni in pre-trapianto in quanto consentono di soddisfare i limitati fabbisogni di N della coltura nelle prime fasi del ciclo colturale e di ridurre la lisciviazione.



Misurazione dell'indice SPAD in una foglia di zucchini

L'ottimizzazione della gestione degli apporti azotati in copertura non può prescindere dal monitoraggio dello stato nutrizionale della coltura attraverso metodi diretti o indiretti. Questo va effettuato sulla 3^a-4^a foglia che ha completato l'espansione della lamina fogliare a partire dall'apice vegetativo. Il metodo indiretto basato sulla misura del contenuto di clorofilla delle foglie tramite il lettore ottico SPAD è stato utilizzato con successo per monitorare lo stato nutrizionale dello zucchini. A titolo di esempio, Pôrto *et al.* (2011) hanno riportato una produzione massima di peponidi quando l'indice SPAD della 4^a foglia a partire dall'apice vegetativo presentava in fase di inizio fioritura dei valori superiori a 55,6.

I metodi diretti di monitoraggio dello stato nutrizionale della coltura prevedono invece la determinazione analitica del contenuto di N nella 3^a-4^a foglia a partire dall'apice vegetativo che ha completato l'espansione della lamina fogliare. È stato riportato che valori compresi tra il 4 e 6% di N nelle foglie essiccate e tra 12.000 e 15.000 mg/kg p.f. di nitrati nei piccioli delle foglie fresche nella prima fase del ciclo colturale risultano ottimali per la crescita e la produzione dello zucchini (Burt *et al.*, 1995; Mills e Jones, 1996).

11.2 ZUCCHINO NEL LAZIO

Lo zucchini costituisce una voce importante per l'economia agricola del Lazio e in particolare di quella dei comuni della fascia costiera della provincia di Latina (Agro Pontino), sia per quanto riguarda il reddito degli agricoltori sia dal punto di vista occupazionale. Lo zucchini soprattutto della tipologia "Romanesco" è coltivato da più di 30 anni nell'Agro Pontino sia in pieno campo per le produzioni estive sia in coltura protetta per le produzioni destagionalizzate. Negli ultimi anni la coltivazione dello zucchini in ambiente protetto è aumentata in modo considerevole tanto da superare come entità di superfici coltivate quella in pieno campo.



Coltura di zucchini in produzione nell'Agro Pontino

Nell'Agro Pontino la coltivazione viene effettuata su terreni prevalentemente sabbiosi nei comuni limitrofi al mare (es. Terracina, Sabaudia, Sperlonga) e franchi o franchi-argillosi con frequente presenza di quantità significative di scheletro nei comuni di Fondi e Formia. Il clima della zona è quello tipico mediterraneo-tirrenico, con inverni miti e poco piovosi.

Lo zucchini in coltura protetta viene coltivato come coltura anticipata (da gennaio a giugno) e ritardata (da settembre a dicembre). Frequentemente la coltura viene coltivata in avvicendamento con altre ortive (es. pomodoro, fagiolino). In coltura protetta il trapianto avviene manualmente a fila singola o binata utilizzando spesso la pacciamatura con film plastici neri. Il metodo irriguo più utilizzato è quello a microportate di erogazione mediante ali gocciolanti, poste sotto la pacciamatura, disposte lungo le file.

Per il controllo delle avversità biotiche (es. oidio, muffa grigia, mosca bianca, tripidi, ragnetto rosso) è molto diffusa la lotta integrata. La raccolta è scalare (ogni 1-2 giorni) e inizia dopo circa 40-50 giorni dal trapianto e prosegue per 2-3 mesi. I primi frutti in genere vengono eliminati in quanto spesso deformi o non riescono a ingrossare. La raccolta dello zucchini deve avvenire a mezzo di un taglio netto da eseguirsi con un coltello molto affilato, a un paio di centimetri dalla base del frutto. Nel corso della raccolta occorre manipolare con molta cura i frutti al fine di evitare ammaccature, lesioni o abrasioni che favoriscono la penetrazione e la diffusione di agenti patogeni. I peponidi commercializzati con il fiore (tipo 'Romanesco') e destinati ai mercati locali vengono raccolti al mattino per ottenere zucchini con fiore aperto.

I peponidi di cultivar raccolte senza fiore o destinate a mercati lontani sono raccolti dopo la caduta del fiore allo stadio di sviluppo richiesto dal mercato, in genere pari a 15-18 cm di lunghezza. La produzione raggiunge 40 t/ha in pieno campo mentre in serra può arrivare a 70 t/ha.



Coltura di zucchini trapiantata a fila singola su terreno pacciamato precedentemente coltivato a pomodoro in una serra dell'Agro Pontino.

Le varietà maggiormente coltivate sono quelle a frutto allungato, costoluto e di colore verde chiaro (tipo ‘Romanesco’) raccolto con il fiore aperto, quelle a frutto allungato verde medio o scuro raccolto senza fiore (tipo ‘President’) e quelle verdi chiaro o scuro a frutto tondo raccolte senza fiore (nuove tipologie di recente introduzione). Tra le cultivar più diffuse si ricordano: ‘Romolo’, ‘Portofino’, ‘President’, ‘Afrodite’, ‘Velvia’, ‘Géode’, ‘Grezini’. Lo zucchini raccolto con il fiore della tipologia ‘Romanesco’ è destinato soprattutto al mercato fresco di Roma mentre quello verde raccolto senza fiore (tipo ‘President’) al mercato fresco del Nord Italia e dell’Europa (es. Germania, Gran Bretagna, Svizzera) dove molto apprezzato per le sue ottime caratteristiche merceologiche e organolettiche. Infine, è in via di costituzione un comitato promotore per la richiesta di riconoscimento dell’IGP per lo zucchini ‘Romanesco’, in considerazione della lunga tradizione della coltura nell’Agro Pontino.



Zucchini ‘Romanesco’ pronto per la commercializzazione

Nutrizione e concimazione azotata

La concimazione azotata rappresenta una tecnica di primaria importanza per garantire elevati livelli produttivi. In pratica, la concimazione ha come obiettivo quello di mettere a disposizione della coltura durante tutto il ciclo produttivo, l’N nelle quantità e forme più adeguate alla coltura e nel rispetto dell’esigenze qualitative e dell’ambiente.

Il piano di concimazione normalmente effettuato dai produttori di zucchini dell’Agro Pontino prevede una concimazione di fondo con fertilizzanti organici NP o ternari organo-minerali seguita da più interventi in fertirrigazione con concimi minerali ternari e azotati (es. nitrato ammonico, nitrato di calcio, nitrato di potassio, urea). Molto diffusa è anche l’apporto nelle prime fasi del ciclo colturale di concimi organici (ad. es. cuniccio) in fertirrigazione

I produttori apportano dosi di N variabili in funzione della lunghezza del ciclo colturale

con punte di 300 kg/ha per le colture anticipate a ciclo lungo (5-6 mesi). In genere si assiste a una tendenza alla sovra-concimazione con rischi di perdite dell'elemento per lisciviazione, aumento dei costi di produzione e scadimento della qualità del prodotto. Il disciplinare di produzione integrata della Regione Lazio impone l'obbligo di stabilire gli apporti di fertilizzanti sulla base di un piano di concimazione formulato in base ai risultati di un bilancio semplificato dell'N che tenga conto dei fabbisogni della coltura stabiliti in base alle potenzialità produttive, degli apporti derivanti dalla fertilità del suolo, dai residui della coltura in precessione e dalle fertilizzazioni organiche effettuate negli anni precedenti e delle perdite per lisciviazione.

Protocolli per la concimazione azotata

Il protocollo tiene conto sia delle pratiche adottate dalle aziende dell'Agro Pontino e dei risultati delle prove sperimentali condotte dall'Università della Tuscia e prevede quanto di seguito riportato.

La dose totale di N da distribuire è calcolata come differenza tra il quantitativo prelevato dalla coltura durante il ciclo colturale e quello minerale presente nel terreno all'impianto e che si rende disponibile durante il ciclo colturale per mineralizzazione della sostanza organica. Anche l'N minerale apportato dall'acqua irrigua deve essere considerato come N disponibile; questo può essere calcolato moltiplicando la concentrazione di N nitrico determinato analiticamente nell'acqua irrigua per il fabbisogno irriguo stimato. Inoltre, bisogna considerare che non tutto l'N distribuito viene assorbito dalla coltura ma in relazione al tipo di terreno, il regime irriguo, la forma azotata utilizzata e la modalità di distribuzione ci saranno delle perdite che riducono l'efficienze della concimazione (rapporto tra la quantità di N assorbito dalla coltura e quella distribuita con il concime) e richiedono quindi un incremento della dose apportata.

Sulla base di quanto sopra riportato la dose di concime azotato può essere calcolata con la seguente formula:

$$\text{dose di N} = (N \text{ prelevato} - N \text{ disponibile}) / \text{Efficienza di concimazione}$$

Per una produzione attesa di 60 t/ha la coltura deve disporre di 228 kg di N. In condizioni ordinarie, la precessione colturale in coltura protetta è spesso rappresentata da una solanacea (es. pomodoro) che lascia ridotti quantitativi di N nel terreno (< 20 kg/ha) dal momento che la biomassa epigea al termine del ciclo viene rimossa e l'N disponibile nel terreno per mineralizzazione della sostanza organica è limitato (circa 50-70 kg) per la scarsa dotazione di sostanza organica del suolo (<1%) e le letamazioni poco frequenti. Si può stimare quindi che circa 140-150 kg/ha di N debbano essere apportati con la concimazione. Se si considera che l'efficienza di assorbimento della concimazione azotata con distribuzione frazionata in fertirrigazione può raggiungere anche il 90% occorrerà aumentare la dose fino ad apportare circa 160-170 kg/ha.

Apporto in pre-impianto di non più del 30% della dose di totale N utilizzando forme azotate a lento rilascio (es. concimi organici) con una dinamica di rilascio dell'N in forma

disponibile (nitrico e ammoniacale) compatibile con i ritmi di assorbimento della coltura.

Frazionamento della restata parte di N in copertura mediante fertirrigazioni settimanali con apporti crescenti fino alla fase di piena produzione.

Impiego della diagnostica fogliare o di strumenti ottici (es. SPAD) per il monitoraggio dello stato nutrizionale della coltura. Per buona parte delle cultivar più diffuse, valori di N e di SPAD per la 3^a -4^a foglia superiore pari rispettivamente a 4% e a 50 indicano una dotazione sufficiente di N per la coltura.

BIBLIOGRAFIA

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rome, 174 p.
- Burt, C., O'Connor, K., Ruehr, T., 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research Center California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407, US, ISBN 0-9643634-1-0, 295 p.
- Chance, W.O., Somda, Z.C., Mills, H.A., 1999. Effect of nitrogen form during the flowering period on zucchini squash growth and nutrient element uptake. J. Plant Nutr. 22, 597-607.
- Haynes, R.J., Swift, R.S., 1991. Effect of trickle fertigation with three forms of nitrogen on soil pH, levels of extractable nutrients below the emitter and plant growth. Plant Soil 102, 211-221.
- Mills, H.A., Jones, J.B., 1996. Plant analysis handbook II. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, Georgia, US, 422 p.
- Pôrto, M.L., Puiatti, M., Fontes, P.C.R., Cecon, P.R., do C Alves, J., de Arruda, J.A., 2011. SPAD index for nitrogen status diagnosis of zucchini plants. Hortic. Bras., 29: 447-451.
- Tesi, R. 2010. Orticoltura mediterranea sostenibile. Patron Editore, Bologna, 502 p.
- Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M., Hanselman, T., Le Femminella, K., Muñoz-Carpena R., 2008. Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on a sandy soil. Sci. Hortic. 116, 8-16.

Appendice - Applicazione della Direttiva Nitrati in Italia

La Direttiva Nitrati n. 676 del Consiglio (91/676/CEE) è un provvedimento dell'U.E. approvato nel 1991, con lo scopo di ridurre e prevenire l'inquinamento delle acque e del suolo causato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Questa Direttiva è stata recepita a livello nazionale con i Decreti Legislativi n. 152/1999 e n. 152/2006 ed il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali del 7 aprile 2006.

A loro volta le singole regioni hanno emanato i provvedimenti necessari per applicare pienamente le norme comunitarie e nazionali sul territorio regionale.

Ogni regione ha individuato zone vulnerabili (ZVN) e non vulnerabili sul suo territorio e ha stabilito i piani operativi che ogni azienda deve presentare per dimostrare la corretta utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e dei fertilizzanti azotati. Nel 2006, circa il 12,9% del territorio italiano era designato come vulnerabile. La Regione Emilia Romagna ha designato il 29,9% del proprio territorio regionale, contribuendo per il 17% alla designazione nazionale. Le sole Regioni dell'area padana (Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna e Veneto) coprono due terzi del territorio nazionale designato e ben oltre il 50% dell'area di pianura del bacino del Po. In Trentino, non essendo stata rilevata nel 2009, nelle acque superficiali e nelle acque sotterranee, presenza di nitrati in concentrazione superiore a 50 mg/L non sono state di conseguenza designate ZVN.

Di seguito si riportano alcune informazioni riguardo all'applicazione della Direttiva Nitrati nelle varie regioni italiane: riferimento legislativo, indirizzo WEB dove è disponibile la documentazione e misure agronomiche riguardanti la concimazione azotata degli ortaggi.



Zone vulnerabili ai nitrati in Italia nel 2006.

Fonte: http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Progetti/OptiMa-N/it/CI_20070914/Mundo.pdf

ABRUZZO

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale n. 332 del 21 marzo 2005: “Designazione e Perimetrazione delle Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola”.
- Delibera della Giunta Regionale n. 1475 del 18 dicembre 2006: “Programma d'azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola” predisposto dall'ARSSA (Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo).
- Successive delibere ad integrazione e revisione del Programma d'azione: n. 709 del 16 luglio 2007; n. 899 del 7 settembre 2007.

Documentazione WEB: <http://www.direttivanitrati.arssa.abruzzo.gov.it/>

Zone Vulnerabili:

1. “Piana del Vibrata”: nell’ambito della provincia di Teramo e include i Comuni di Alba Adriatica, Martinsicuro, Colonnella, Corropoli, Nereto, Sant’Omero, Torano Nuovo, Ancarano, Sant’Egidio alla Vibrata, Civitella del Tronto.
2. “Piana del Vomano”: nell’ambito della provincia di Teramo e include i Comuni di Roseto degli Abruzzi, Pineto, Morro d’Oro, Atri, Notaresco, Cellino Attanasio, Castellalto, Canzano, Cermignano, Teramo, Penna Sant’Andrea, Basciano, Montorio al Vomano, Tossicia.

Per un totale di 11.600 ha complessivamente per il territorio regionale.

Misure agronomiche:

- Osservare le limitazioni previste per l’impiego di letame, liquami, ammendanti organici o altri concimi azotati in relazione a distanze da corsi d’acqua, laghi, o arenili, alla pendenza, alla presenza di terreni gelati, saturi d’acqua o con falda affiorante;
- Divieto della distribuzione in campo di liquami, letami, concimi azotati, ammendanti e materiali assimilati nella stagione autunno-invernale, dal 1° ottobre al 28 febbraio;
- Obbligo di: redigere il piano di utilizzazione agronomica (PUA) quinquennale; effettuare una analisi chimico fisica del suolo almeno ogni tre anni; apportare quantità inferiori ai 160 kg/ha di N per anno provenienti complessivamente da effluenti zootecnici, fertilizzanti minerali e organici, acque reflue; non apportare in un'unica soluzione quantità di N superiori a 90 kg/ha per le colture erbacee ed orticole e 50 kg/ha per le colture arboree. Le concimazioni con concimi di sintesi sono consentite solo con coltura in atto.

BASILICATA

Riferimenti legislativi:

- D.G.R. 2446 del 15.11.2000 “Complemento di programmazione del P.O.R. Basilicata 2000-06” Allegato 2 “Codice di Buona Pratica Agricola”;
- D.C.R. 508 del 25.03.02 “Individuazione zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola”;
- D.C.R. 119 del 06.06.06 “Programma d’azione per la tutela delle aree agricole riconosciute vulnerabili all’inquinamento da nitrati di origine agricola”;
- D.Lg.vo 152/1999 “Revisione D.Lg.vo 152/1999 “Recepimento direttiva nitrati”;
- DCR 119 del 06.06.06 “Art. 19 del Decreto Legislativo n. 152/99 – Programma d’azione della Basilicata per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola”. BURB n. 34 del 01.07.06,
- DCR 293 del 17.07.07 “Programma d’azione della Basilicata per le zone ordinarie o non vulnerabili ai nitrati di origine agricola”. BURB n. 43 del 16/09/07.

Documentazione WEB: Portale Regionale dei Servizi Agricoli www.ssabasilicata.it; portale di ARBEA http://www.arbea.basilicata.it/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=263.

Zone Vulnerabili:

In Basilicata l’area vulnerabile all’inquinamento da nitrati è la fascia del Metapontino. I comuni interessati sono sette: Bernalda, Pisticci, Scanzano Jonico, Policoro, Nova Siri, Rotondella e Montalbano Jonico. E per questa zona è stato approvato uno specifico “Programma d’azione per la tutela delle zone vulnerabili all’inquinamento da nitrati di origine agricola” (Delibera di Giunta Regionale 508/2002).

Le zone non vulnerabili da nitrati di origine agricola risultano essere tutte le zone regionali al di fuori della zona del Metapontino. Per queste zone, il Consiglio regionale ha approvato lo scorso 17 luglio, il “Programma d’azione per la tutela delle zone ordinarie o non vulnerabili all’inquinamento da nitrati di origine agricola” (Delibera di Consiglio Regionale 293 del 17/07/2007).



Misure agronomiche:

- Le fertilizzazioni effettuate, o qualunque altra forma di intervento che apporta N ai suoli, non devono in ogni caso apportare un quantitativo di N per tipo di coltura per ettaro e per anno superiore a 210 kg inteso come quantitativo medio aziendale, considerando che i contributi da effluenti di allevamento non devono comunque superare i 170 kg di N e devono essere giustificati a seconda dei casi dal piano di fertilizzazione o dal piano di utilizzazione agronomica degli effluenti. Qualora vengano effettuate somministrazioni azotate con dosi annue superiori a 60 Kg/ha per anno è obbligatorio frazionare la somministrazione nel corso dell'anno.
- La distribuzione dei fertilizzanti in campo è vietata dal 1 dicembre al 28 febbraio, per i concimi a pronto effetto e ad eccezione delle colture ortofloricole e vivaistiche protette o in pieno campo; per tali colture il periodo di divieto decorrerà dal 1 di gennaio al 28 di febbraio;
- Per le aziende che utilizzano N minerale, c'è l'obbligo di un piano di concimazione che determini le quantità di N da distribuire sulla base dell'equilibrio tra il fabbisogno delle colture e l'apporto di N proveniente dalle precipitazioni atmosferiche, dal terreno (N derivante dalla mineralizzazione delle riserve organiche del terreno) e dalla fertilizzazione (effluenti zootecnici, concimi organici e minerali).

CALABRIA

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 301/2012;
- Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 393/2006;
- Delibera della Giunta Regionale della Calabria n. 817/2005;

Pubblicate sul Bollettino Ufficiale della Regione Calabria (BURC) e relative a:

- Regolamento regionale recante: designazione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e relativo programma di azione.
- Approvazione del documento cartografico riportante la designazione e perimetrazione delle aree vulnerabili ai nitrati di origine agricola (ZVN)

Documentazione **Web:** <http://www.consiglioregionale.calabria.it/PPA8/94.pdf>;
http://www.burc.regione.calabria.it/download_a.php?a=2006&f=sups5_9.pdf

Zone vulnerabili:

Le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola della regione Calabria sono state ottenute dall'incrocio di due modelli parametrici IPNOA (pericolosità da nitrati di origine agricola) e SINTACS (vulnerabilità intrinseca), corrispondono alle aree di maggiore interesse agricolo

regionale. Le zone vulnerabili ricadono su una superficie di quasi 222.000 ha, che rappresenta circa il 15% del territorio regionale e oltre il 40% delle superfici agricole calabresi.

La loro localizzazione riguarda principalmente le zone costiere; inoltre assai estese sono le superfici vulnerabili della piana di Sibari in direzione di Roggiano Gravina, andando a sud verso Cosenza; ampie sono pure le superfici ricadenti nella Piana di S. Eufemia ed in prossimità di Rosarno.

Misure agronomiche:

- È regolamentata l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento allo scopo di garantire l'elevata utilizzazione degli elementi nutritivi, l'uniformità di applicazione del reflui, la limitata deriva e perdita dei reflui.
- In via cautelativa, anche nelle zone non vulnerabili, è raccomandata l'applicazione del Codice di Buona Pratica Agricola con specifico riferimento a quanto previsto per i fabbisogni azotati delle colture in riferimento ai quali vengono definiti dei quantitativi massimi ammessi in preimpianto ed in copertura.
- Viene definito il Piano di Utilizzazione Agronomica che rappresenta uno strumento che raccoglie le informazioni sulla gestione delle fertilizzazioni con specifico riferimento a quella azotata. Il piano si basa sulla definizione di una formula semplificata riguardante input e output.
- Vengono fornite indicazioni circa la protezione dei terreni declivi attraverso l'impiego di cover crops e la realizzazione di idonee sistemazioni idraulico agrarie.
- Relativamente all'irrigazione, vengono richiamati i principi della buona pratica riguardanti, tra gli altri, la scelta di idonei volumi e del più appropriato metodo di distribuzione anche in funzione delle caratteristiche pedologiche ed orografiche

CAMPANIA

Riferimenti legislativi:

- Febbraio 2003: Zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola (DGR 700/2003)
- Febbraio 2004: Programma d'azione della Campania (DGR 182/2004)
- Luglio 2005: Piano di Comunicazione per il Programma d'azione (DRD n. 345/2005)
- Febbraio 2007: Disciplina tecnica per lo spandimento dei reflui zootecnici (DGR 120/2007)
- Febbraio 2007: Rimodulazione del Programma d'Azione per la Campania (DGR 209/2007)

Documentazione WEB: <http://www.agricoltura.regione.campania.it/nitrati/nitrati.htm>

Zone vulnerabili:

Le ZVV sono state delimitate utilizzando specifica documentazione tecnica (carte dei suoli, carta delle pendenze, carte dell'uso agricolo del suolo, dati della rete di monitoraggio delle acque dell'ARPAC, dati e cartografie delle Autorità di bacino) e riportate su apposita cartografia (1:25.000).

La cartografia delle Zone Vulnerabili è disponibile presso: le sedi comunali; le sedi provinciali dei Settori decentrati dell'Assessorato all'agricoltura (STAPA-CePICA) e le rispettive sedi periferiche (Centri di Sviluppo Agricolo - CeSA) dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania; le Autorità di Bacino della Campania.

Le ZVN della Campania occupano una superficie complessiva di 157.097,7 ettari, ricadono in 243 comuni e sono così ripartite:

Comuni interessati	Superficie ZVN	Incidenza ZVN su sup. comunale
31	8746,1	12,8%
20	4267,9	7,7%
49	36976,4	29,4%
73	68436,7	69,0%
70	38670,6	15,2%



Misure agronomiche

Il programma d'azione della Campania, che è di applicazione obbligatoria nelle ZVN, regola le seguenti attività:

- l'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici;
- la gestione della fertilizzazione azotata;
- la gestione dell'uso del suolo (rotazioni ed avvicendamenti, sistemazioni, lavorazioni);
- la gestione dell'acqua di irrigazione.

EMILIA ROMAGNA

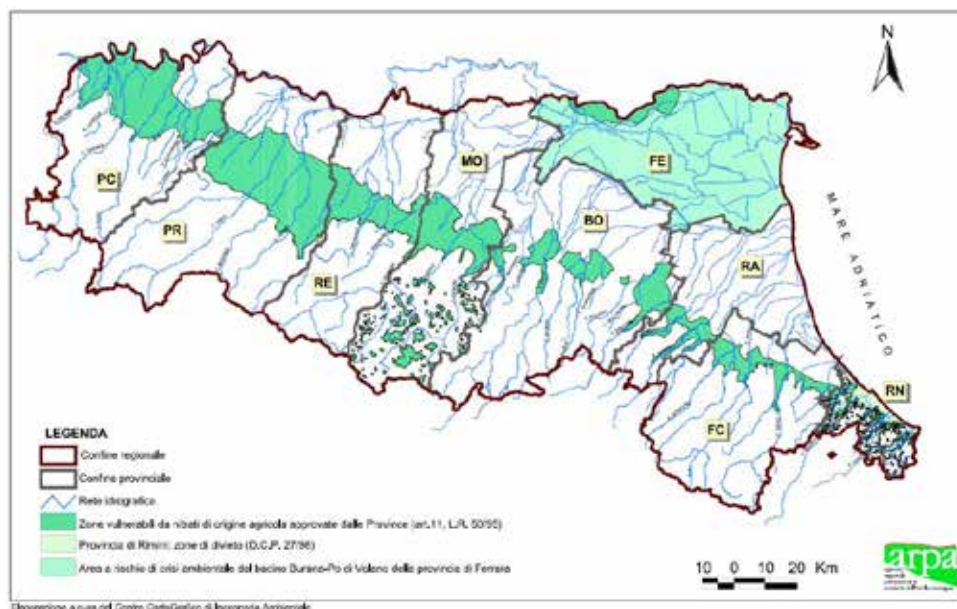
Riferimenti legislativi:

Il Regolamento di Giunta Regionale n. 1 del 28/10/2011: stabilisce le norme per l'utilizzo agronomico degli effluenti di allevamento e delle acque reflue da attività agricole e dà esecuzione al disposto dell'articolo 8 della Legge Regionale n. 4 del 6 marzo 2007.

Documentazione WEB: <http://www.ermesagricoltura.it/Sportello-dell-agricoltore/Come-fare-per/Produrre-nel-rispetto-dell-ambiente/Utilizzare-effluenti-di-allevamento-Programma-d-Azione-Nitrati/Programma-d-Azione-Nitrati-2012-2015-Regolamento-Regionale-n.1-2011>

Zone Vulnerabili:

1. le aree già designate come vulnerabili dall'Emilia-Romagna nella Deliberazione del Consiglio Regionale n. 570 dell'11/02/1997;
2. l'area dichiarata a rischio di crisi ambientale del bacino Burana Po di Volano della provincia di Ferrara (L. 305/89 art. 6).



Il Programma d'Azione (Del. A.L. n.96/2007), confermando le ZVN designate, definisce anche le Zone assimilate:

1. le zone di rispetto delle captazioni e derivazioni di acqua destinata al consumo umano (per un raggio di 200 m);
2. le fasce fluviali A e B (fasce interne agli argini maestri) del Piano Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Po;
3. eventuali altre aree individuate dalle Province nella fase di approvazione delle cartografie di dettaglio delle ZVN, che costituiscono parte integrante dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (PTCP).

Misure agronomiche:

- La deroga al quantitativo massimo di 170 kg/ha annui di N zootecnico è stata concessa dalla Commissione europea alle regioni Emilia-Romagna, Piemonte, Lombardia e Veneto, che hanno dimostrato la possibilità di raggiungere un massimale di 250 kg/ha annui, senza mettere a rischio la qualità delle acque.
- Divieto di utilizzazione dei fertilizzanti azotati è vietata nella stagione autunno-invernale, di norma dal 1 novembre fino all'ultimo giorno del mese di febbraio.
- Apporti massimi di N compresi tra 50 (fagiolino) e 250 (sedano, cavolo cappuccio) kg/ha.

FRIULI VENEZIA GIULIA

Riferimenti legislativi:

- Deliberazione della Giunta regionale 23 maggio 2003, n. 1516.
- Deliberazione della Giunta regionale 25 settembre 2008, n. 1920.

Documentazione WEB: <http://www.ersa.fvg.it/istituzionale/direttiva-nitrati>

Zone Vulnerabili:

- 1) Comune di Montereale Valcellina.
- 2) Bacino scolante della laguna di Marano e Grado.

Misure agronomiche:

Limitare l'applicazione al suolo dei fertilizzanti azotati sulla base dell'equilibrio tra il fabbisogno prevedibile di N delle colture e l'apporto alle colture di N proveniente dal suolo e dalla fertilizzazione;

LAZIO

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale n. 767 del 6 agosto 2004: “Programma d’azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola”.
- Legge regionale n. 17 del 23 novembre 2006: “Disciplina regionale relativa al programma d’azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e all’utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, delle acque di vegetazione dei frantoi oleari e di talune acque reflue. Modifiche alla legge regionale 6 agosto 1999, n.14”.
- Regolamento regionale n. 14 del 23 novembre 2007: “Programma d’azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola”.

Documentazione (WEB): http://www.regione.lazio.it/rl_ambiente/

Zone Vulnerabili:

Le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola sono stati definiti dalla Delibera della Giunta Regionale n. 767 del 6 Agosto 2004. Coprono una superficie totale di circa 34.000 ha pari al 2,0 % della superficie regionale e allo 0,9 % del totale nazionale designato. Le zone sono:

1. Pianura Pontina settore meridionale
2. Maremma laziale – Tarquinia Montalto Castro

Misure agronomiche:

- L'utilizzo agronomico del letame e dei materiali ad esso assimilati, nonché dei concimi azotati e ammendanti organici, dei liquami e delle acque reflue, è vincolato alle distanze da corsi d’acqua, laghi, o arenili, alla pendenza, alla presenza di terreni gelati, innevati, saturi d’acqua o con falda affiorante, al tipo di irrigazione utilizzata.
- Lo spandimento degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché dei concimi azotati e degli ammendanti organici, è vietato nella stagione autunno-invernale, di norma dal 1° novembre fino alla fine di febbraio, fatta eccezione per colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento fermo vincolate all’articolo 4 del d.lgs. n.99/1992.
- Osservare le indicazioni previste per le tecniche di distribuzione e le altre misure adottate al fine di contenere le dispersioni di sostanze nutrienti nelle acque superficiali e profonde.
- Ai fini dell’utilizzazione agronomica al di fuori del periodo di durata del ciclo della coltura principale, devono essere garantite o una copertura dei suoli tramite colture intercalari o coperture vegetali, secondo le disposizioni contenute nel CBPA o, in alternativa, altre pratiche colturali atte a ridurre la lisciviazione dei nitrati, quali l'interramento di paglie e stocchi.
- Rispettare i vincoli all’utilizzo dei concimi azotati e degli ammendanti organici in

relazione alle esigenze delle colture presenti, delle asportazioni e dei limiti massimi di N consentiti per concimazione (100 kg/ha per le colture orticole, 60 kg/ha per le arboree).

- Osservare le limitazioni e le indicazioni per lo stoccaggio dei materiali.
- Obbligo per le aziende che producono e/o utilizzano più di 1000 kg/anno di N al campo da effluenti di allevamento o acque reflue, di redigere una comunicazione quinquennale al comune di appartenenza, con integrazione del piano di fertilizzazione azotata (PDFA), per le aziende che producono e/o utilizzano tra 1000 e 3000 kg di N al campo, o del piano di utilizzazione agronomica (PUA), per le aziende che producono e/o utilizzano più di 3000 kg di N al campo

LIGURIA

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale n. 1256 del 5 novembre 2004: “Individuazione, nei comuni di Albenga e Ceriale, di una zona vulnerabile da nitrati di origine agricola”.
- Delibera della Giunta Regionale n. 599 del 16 giugno 2006: “Programma d'azione per la tutela e il risanamento delle acque dall'inquinamento causato da nitrati di origine agricola”.
- Successive delibere: n. 25 - 19 gennaio 2007; n. 163 - 26 febbraio 2007; n. 978 - 5 agosto 2011.

Documentazione WEB: <http://www.agriligurianet.it>

Zone Vulnerabili:

1. Piana di Albenga (Savona), circa 1.325 ettari: i comuni interessati sono Albenga, Ceriale e Cisano sul Neva, rispettivamente per il 77,13%, il 22,81% e lo 0,06% dell'area delimitata.

Misure agronomiche:

- Osservare le limitazioni previste per l'impiego di letame, liquami, ammendanti organici o altri concimi azotati in relazione a distanze da corsi d'acqua, laghi, o arenili, alla pendenza, alla presenza di terreni gelati, saturi d'acqua o con falda affiorante;
- Divieto di utilizzo di sistemi di coltivazione idroponica “fuori suolo” a ciclo aperto (senza recupero della soluzione nutritiva);
- Divieto della distribuzione in campo di fertilizzanti azotati in determinati periodi stagionali ed in quantità superiore a quanto previsto dal Programma d'Azione per le diverse colture;
- Gli impianti di fertirrigazione per aspersione (a pioggia), sono fortemente sconsigliati; per le coltivazioni in vaso in pieno campo sono consentiti al massimo 5 interventi di

fertirrigazione/anno e sono vietati dal 1° novembre al 15 gennaio. Non effettuare fertirrigazioni con metodo a scorrimento.

- Obbligo di: redigere un piano di concimazione annuale; effettuare una analisi chimico fisica del suolo almeno ogni tre anni; non apportare in un'unica distribuzione quantità superiori ai 50 kg/ha di N.

LOMBARDIA

Riferimenti legislativi:

A partire dal 2003 la Regione Lombardia ha avviato una serie di interventi legislativi per il contenimento del carico di N nelle zone vulnerabili. Un quadro sintetico dei provvedimenti legislativi riguardanti l'applicazione della Direttiva Nitrati è riportato nel testo disponibile a http://www.agricoltura.regione.lombardia.it/shared/ccurl/630/8/Report_ConsReg_nitrati11_09.pdf

Documentazione WEB:

http://www.agricoltura.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Page&childpagename=DG_Agricoltura%2FDGLayout&cid=1213405407297&p=1213405407297&pagename=DG_AGRWrapper

Zone Vulnerabili:

Le zone vulnerabili sono identificate per ciascuna provincia e sono suddivise in zone totalmente vulnerabili e zone parzialmente vulnerabili: l'elenco dei comuni nelle prime è riportato nel DGR 8/3297 del 11/10/06, mentre i comuni nel secondo tipo di zone è contenuto nel DGR 8/3297 del 11/10/06.

Le ZVN sono riportate negli allegati 8 e 9 nel seguente sito:

http://www.agricoltura.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale_P&childpagename=DG_Agricoltura%2FDetail&cid=1213305487761&pagename=DG_AGRWrapper

Misure agronomiche:

- Avvicendamento culturale con colture che possono influenzare direttamente o indirettamente le perdite di nitrati per lisciviazione.
- Riduzione del numero di lavorazioni e scelta di quelle più conservative.
- Pilotaggio dell'irrigazione in base alle esigenze idriche delle colture per ridurre le perdite di acqua per drenaggio.
- Formulazione di un piano di concimazione e scelta del concime in funzione della coltura.
- Il carico massimo di reflui zootecnici da distribuire sui terreni agricoli non deve superare il fabbisogno delle colture ed in particolare nelle ZVN non deve superare 170 kg di N/ha, fatto salvo quanto previsto all'art. 4 punti 1 lettera d Reg. attuativo L.R. 37/93;
- Alle aziende ad indirizzo ortoflorovivaistico è richiesto l'autorizzazione per scaricare nelle acque superficiali le acque reflue derivanti dall'attività svolta.

MARCHE

Riferimenti legislativi:

- Decreto del Dirigente del Servizio Tutela Ambientale n. 10 del 10 settembre 2003: “Prima individuazione delle Zone Vulnerabili da Nitrati d’origine agricola”
- Delibera della Giunta Regionale n. 1448 del 3 dicembre 2007: “Programma d’azione delle Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola della regione Marche (ZVN) e prime disposizioni di attuazione del D.Lgs. 152/06 e del Titolo V del D.M. 7 aprile 2006 per le ZVN”

Documentazione WEB:

<http://www.regione.marche.it/DipartimentoPoliticheIntegrate/PFDifesaDelSuoloErisorseIdriche/Zonevulnerabilidanitrati.aspx>

Zone Vulnerabili:

Il territorio regionale individuato come Zona Vulnerabile da Nitrati di Origine Agricola è pari a circa 12000 ha equivalente al 12,27 % della superficie regionale e al 3,0 % del totale nazionale designato. La suddivisione delle Zone, la loro denominazione e numerazione, è stata presa riferendosi alle aree dei bacini idrografici individuati con L.R. n. 13 del 25 maggio 1999.

Misure agronomiche:

- Limitazioni per l’impiego di letame, concimi azotati e ammendanti organici in relazione a distanze da corsi d’acqua, laghi, o arenili, nelle aree di cava, alla presenza di terreni gelati, saturi d’acqua o con falda affiorante o con frane in atto, a fasce temporali in funzione dell’utilizzo del suolo.
- Divieto per l’impiego di liquami e fanghi di depurazione sui terreni gelati, innevati, saturi d’acqua, con falda acquifera affiorante o con frane in atto, su terreni con pendenza pendenza media superiore al 10 %, sui suoli prossimi ai corsi d’acqua, laghi o arenili o sui suoli con colture orticole in atto destinati al consumo a crudo.
- Indicazioni sulle pratiche di trasporto e di stoccaggio degli effluenti zootecnici.
- Indicazioni sulle modalità di distribuzione e sul dosaggio consentito.
- Obbligo a redigere un piano di utilizzazione agronomica (PUA) per aziende che producono quantitativi maggiori di 3000 kg/anno di N al campo. Obbligo per le aziende che producono quantitativi compresi tra 1001 e 3000 kg/anno di N al campo a redigere una comunicazione al comune di appartenenza.
- Indicazione delle misure ammesse e delle limitazioni previste per le aziende non zootecniche nella gestione della fertilizzazione azotata.

MOLISE

Riferimenti legislativi:

- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1104 del 25/05/1993, pubblicata sul BURM n. 15 del 01/07/2003, recante la direttiva regionale per lo spargimento sul suolo agricolo dei liquami e delle deiezioni zootecniche, e per il rilascio delle autorizzazioni previste per la realizzazione di nuovi allevamenti zootecnici.
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1579 del 30/11/2004, già pubblicata sul BURM n. 2 del 01/02/2005 e in attesa di definitiva pubblicazione in forma integrale, recante direttiva regionale per la protezione delle acque e dell'inquinamento dai nitrati provenienti da fonti agricole.
- Deliberazione della Giunta regionale n. 1023 del 21/07/2006, pubblicata sul supplemento ordinario n. 1 al BURM n. 29 del 16/10/2006, recante approvazione del "Piano Nitrati".

Deliberazione di Giunta regionale n. 632 del 16.06.2009, è stato adottato un documento programmatico titolato "Piano di tutela delle acque della Regione Molise".

Documentazione WEB:

http://www.regione.molise.it/web/Assessorati/autorit%C3%A0_ambiente.nsf/0/961035F17A0BC2F0C125744E0038FFAB?OpenDocument#

Zone Vulnerabili:

1. Acquiferi vulnerati: Piana del Biferno; Piana del Volturno, Comune di Venafro.
2. Acquiferi in fase di vulnerazione: Piana del Volturno, Comune di Sesto Campano.
3. Acquiferi potenzialmente vulnerabili (zone di attenzione); Monte Capraro, Monte Ferrante e Altro Trigno; Piana di Bojano; Monte Totila; Colli Campanari; Colle Alto; Monte Patalecchi; Montre Tre Confini; Monte Vairano.
4. Acquiferi a bassa vulnerabilità: Monti della Meta; Monte Gallo, Piana del F. Trigno; Monte Camoo; Monti di Venafro; Matese settentrionale; Rilievo collinare di Colle d'Anchise; Monte Nutria settentrionale; Struttura di Colli a Volturno; Struttura di Rocchetta a Volturno.

Nelle zone vulnerate o in fase di vulnerazione sono applicati vincoli più restrittivi di quelli applicati nelle zone di attenzione e a bassa o nulla vulnerabilità.

PIEMONTE

Riferimenti legislativi:

- Legge regionale 29 dicembre 2000, n. 61; Decreto Giunta Regionale 18 ottobre 2002, n. 9/R e Decreto della Giunta Regionale del 28 dicembre 2007: designazione di zone vulnerabili da nitrati di origine agricola.
- Regolamento regionale n.7/R del 20/09/2011: aggiornamento del programma d'azione per le Zone Vulnerabili da Nitrati, e semplificazioni delle norme vigenti sul tema dell'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici.

Documentazione WEB:

http://www.regione.piemonte.it/agri/politiche_agricole/dirett_nitrati/index.htm

Zone Vulnerabili:

- Le ZVN sono state definite dal decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152 (<http://www.sistemapiemonte.it/agricoltura/zvn/index.shtml>)
- Le zone sono raggruppate per provincia. Nell'ambito della provincia sono riportati i comuni con il numero dei fogli di mappa catastale delle ZVN.
- Nelle province di Torino, Cuneo, Biella, Alessandria, Novara e Vercelli sono state disegnate zone vulnerabili ai nitrati per una superficie di 128.094 ha.

Misure agronomiche:

- Le aziende devono presentare un piano di utilizzazione agronomica (PUA) differenziato se hanno una produzione di N di 3000 o 6000 kg/anno.
- Divieto di distribuzione di liquami e fanghi alle colture orticole quando sono presenti le piante.
- Dal 15 novembre al 15 febbraio è vietato l'uso di concimi azotati e ammendanti organici; per i letami e i materiali ad essi assimilati, ad eccezione delle deiezioni degli avicunicoli essiccate con processo rapido a tenori di sostanza secca superiori al 65% per le quali vale il periodo di divieto dal 1° novembre al 28 febbraio.
- Dal 15 novembre al 15 febbraio è vietato l'uso di liquami o materiali simili nel caso di terreni con prati avvicendati, cereali autunno-vernini, colture ortive, arboree con inerbimento permanente o con colture di copertura.
- Non sono ammessi apporti di concimi chimici in un'unica soluzione superiori ai 100 kg/ha di N per le colture erbacee ed orticole. La concimazione può essere effettuata solo in presenza della coltura o alla semina.

PUGLIA

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale n. 2036 del 30 dicembre 2005: “Designazione e Perimetrazione delle Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola”
- Delibera della Giunta Regionale n. 19 del 23 gennaio 2007: “Programma d'azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola”
- Successive delibere ad integrazione e revisione del Programma d'azione: n. 1453 del 1 agosto 2008; n. 500 del 22 marzo 2011.

Documentazione WEB: <http://www.regione.puglia.it>

Zone Vulnerabili:

1. Lesina: comuni di Apricena, Lesina, Poggio Imperiale, Sannicandro Garganico, per un'area di 8.127 ha.
2. Carpino: comune di Carpino, per un'area di 470 ha.
3. San Severo: comuni di Foggia, Lucera, Rignano Garganico, San Giovanni Rotondo, San Marco in Lamis, San Severo, per un'area di 34.154 ha.
4. Foggia: comuni di Foggia, Manfredonia, per un'area di 18.740 ha.
5. Cerignola: comuni di Carapelle, Cerignola, Orta Nova, Stornara, Stornarella, per un'area di 12.589 ha.
6. Trinitapoli: comuni di Cerignola, Trinitapoli, per un'area di 8.185 ha.
7. Andria: comuni di Andria, Barletta, per un'area di 2.184 ha.
8. Terlizzi: comuni di Ruvo di Puglia, Terlizzi, per un'area di 1.324 ha.
9. Arco Jonico: comuni di Castellaneta, Ginosa, per un'area di 6.284 ha.

Per un totale di 92.057 ha complessivamente per il territorio regionale.

Misure agronomiche:

- Osservare le limitazioni previste per l'impiego di letame, liquami, ammendanti organici o altri concimi azotati in relazione a distanze da corsi d'acqua, laghi, o arenili, alla pendenza, alla presenza di terreni gelati, saturi d'acqua o con falda affiorante;
- divieto della distribuzione in campo di fertilizzanti azotati (effluenti zootecnici, acque reflue, concimi ed ammendanti) dal 1° novembre al 28 febbraio, ad eccezione delle colture orticole, floricole e vivaistiche praticate sia in pieno campo sia in serra;
- obbligo di: redigere il piano di utilizzazione agronomica quinquennale; effettuare una analisi del terreno almeno ogni tre anni; apportare quantità inferiori ai 170 kg/ha di N per anno provenienti complessivamente da effluenti zootecnici, fertilizzanti, acque reflue; non apportare quantità di n superiori a 60 kg/ha in un'unica soluzione.

SARDEGNA

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale n. 4/13 del 31 gennaio 2006: “Approvazione preliminare del

Programma d’azione per la Zona Vulnerabile da Nitrati di origine agricola di Arborea”.

Documentazione WEB: <http://www.regione.sardegna.it>

Zone Vulnerabili:

2. “ Porzione di territorio del Comune di Arborea” (La zona è limitata a nord dallo Stagno di S’Ena Arrubia, a est dal Canale delle Acque Medie e dal confine del territorio comunale di Terralba, a sud dal Rio Mogoro e dagli Stagni di San Giovanni e di Marceddi, ed a ovest dalle acque del Golfo di Oristano e degli Stagni di Corru S’Ittiri e Pauli Pirastu).

Misure agronomiche:

- Lo spandimento dei concimi azotati e ammendanti organici è vietato: i) nella stagione autunno-invernale dal 15 novembre al 15 febbraio; ii) sui terreni gelati, saturi d’acqua o innevati e nelle 24 ore precedenti l’intervento irriguo, nel caso di irrigazione a scorrimento per i concimi non interrati.
- Nella concimazione di fondo della patata primaticcia il periodo di divieto decorre dal 15 gennaio al 15 febbraio.
- Lo spandimento dei concimi azotati e ammendanti organici è consentito soltanto in presenza della coltura al momento della semina, ad eccezione dei seguenti casi di presemina: a) su colture annuali a ciclo primaverile estivo, limitando al massimo il periodo intercorrente tra fertilizzazione e semina; b) con impiego di concimi con più elementi nutritivi; in questi casi la somministrazione di N in presemina non può essere superiore a 30 kg/ha.
- Non sono ammessi apporti di N in una unica soluzione superiori ai 100 kg/ha per le colture erbacee ed orticole.

SICILIA

Riferimenti legislativi:

- “Carta regionale delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola”, in scala 1:250.000, Gazzetta Ufficiale della Regione Siciliana n° 17 del 22 aprile 2005
- “Programma di azione obbligatorio per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola” Gazzetta Ufficiale della Regione Siciliana n.10 del 2 marzo 2007).
- Codice di Buona Pratica Agricola Gazzetta Ufficiale n°102 del 4/5/1999 (supplemento).

Documentazione WEB:

<http://www.regione.sicilia.it/agricolturaeforeste/assessorato/CartaNitratiHome.htm>

Zone vulnerabili:

Le zone vulnerabili occupano una superficie di 138012 ettari, corrispondente a circa 5,4% della superficie totale regionale ed al 8.5% della superficie agricola, escluse le isole minori.

Tali zone ricadono nella provincia di Catania (40%), Ragusa (15%), Trapani (12%), Caltanissetta (9%), Siracusa (8%), Messina (7%). Le rimanenti province sono interessate dalle zone vulnerabili per una percentuale inferiore al 5% ciascuna. Ad eccezione della zona ricadente nella piana di Catania, le aree vulnerabili interessano in genere le fasce costiere.

Misure agronomiche:

- Nel Programma di azione e nella Disciplina regionale sono specificate alcune norme relative alla gestione dei fertilizzanti e ad altre pratiche agronomiche che sono di obbligatoria applicazione per le aziende agricole che ricadono nelle zone vulnerabili.
- È definito il divieto della distribuzione in campo del letame e dei materiali ad esso assimilati, nonché dei concimi azotati e degli ammendanti organici in relazione alla coltura e al tipo di fertilizzante in specifiche condizioni e periodi.
- In alcune fasce di divieto, ove possibile, è obbligatoria una copertura vegetale permanente anche spontanea ed è raccomandata la costituzione di siepi e/o di altre superfici boscate.
- Al fine di minimizzare le perdite di N nell'ambiente, per la distribuzione in campo dei fertilizzanti azotati le aziende hanno l'obbligo di redigere un Piano di concimazione, elaborato nel rispetto dell'equilibrio tra il fabbisogno prevedibile di N delle colture e l'apporto alle colture di N proveniente dal suolo e dalla fertilizzazione.
- La quantità massima di unità di N, apportata con fertilizzanti sia organici che minerali, applicabile alle aree adibite ad uso agricolo non deve comunque determinare un superamento di limiti definiti in funzione del tipo di coltura.
- I volumi di adacquamento e i turni di distribuzione, con qualsiasi sistema di irrigazione, dovranno in ogni caso essere commisurati alle effettive esigenze colturali, in relazione alle caratteristiche dei suoli o meteorologico corrente.

TOSCANA

Riferimenti legislativi:

- Varie delibere del Consiglio Regionale a partire dal 2003 per la determinazione delle aree sensibili (con acque eutrofiche o ricche in nitrati) e delle zone vulnerabili.
- DPGR n.32/R del 13 luglio 2006 “Regolamento recante definizione del programma di azione obbligatorio per le zone vulnerabili” e successive modifiche (DPGR 16 febbraio 2010, n. 13/R; DPGR 21 aprile 2008 n. 17/R).

Documentazione WEB: <http://risorseidriche.arsia.toscana.it>

Zone Vulnerabili:

3. “Lago di Massaciuccoli”: territori circostanti al lago di Massaciuccoli, nell’ambito delle Province di Lucca e di Pisa e include i Comuni di Lucca, Massarosa, Vecchiano e Viareggio.
4. “Zona Costiera tra Rosignano Marittimo e Castagneto Carducci”: territori della fascia costiera delle Province di Livorno e di Pisa e include i Comuni di Bibbona, Casale Marittimo, Castagneto Carducci, Castellina Marittima, Cecina, Guardistallo, Montescudaio, Riparbella, Rosignano Marittimo e San Vincenzo.
5. “Zona Costiera tra San Vincenzo e la Fossa Calda”: territori della fascia costiera della Provincia di Livorno e include i Comuni di Campiglia Marittima e San Vincenzo.
6. “Zona Costiera della Laguna di Orbetello e del Lago di Burano”: territori della fascia costiera della Provincia di Grosseto e include i Comuni di Capalbio, Monte Argentario e Orbetello.
7. “Zona del canale Maestro della Chiana”: territori dell’area circostante al Canale Maestro della Chiana, nell’ambito delle Province di Arezzo e di Siena ed include i Comuni di Arezzo, Castiglion Fiorentino, Chianciano Terme, Chiusi, Civitella in Val di Chiana, Cortona, Foiano della Chiana, Lucignano, Marciano della Chiana, Monte San Savino, Montepulciano, Sinalunga e Torrita di Siena.

Misure agronomiche:

- Per le aziende che utilizzano N minerale, c’è l’obbligo di un piano di concimazione che determini le quantità di N da distribuire sulla base dell’equilibrio tra il fabbisogno delle colture e l’apporto di N proveniente dalle precipitazioni atmosferiche, dal terreno (N derivante dalla mineralizzazione delle riserve organiche del terreno) e dalla fertilizzazione (effluenti zootecnici, concimi organici e minerali).
- Le asportazioni di N previste per le colture orticole oscillano da 20 (es. fagiolo e pisello) a 200 (es. pomodoro e peperone) kg/ha.
- La concimazione azotata può essere effettuata in presemina o al momento della semina soltanto se la distribuzione alle colture a ciclo autunno-vernino non supera il 30% della

dose totale di N prevista. Per quanto riguarda il frazionamento, gli apporti di N in un'unica soluzione: 1. non devono superare il 60% del quantitativo di N totale previsto se questo è superiore a 50 kg/ha; 2) non devono mai superare i 100 kg/ha per le colture a ciclo primaverile-estivo.

- Divieto di concimare il giorno precedente l'irrigazione, nel caso di irrigazione per scorrimento e concimi non interrati.
- Divieto di concimare dal 1° dicembre per novanta giorni. Per le coltivazioni, ad eccezione delle colture permanenti, che vengono seminate o trapiantate nella stagione autunno-invernale (es. colture orticole), il periodo di divieto può essere anticipato o ritardato a livello aziendale fino ad un massimo di trenta giorni rispetto al 1° dicembre, purché venga rispettato una sospensione complessiva di 90 giorni. Nelle colture ortofloricole di pieno campo che utilizzano l'N in misura significativa anche nella stagione autunno-invernale, è possibile interrompere il divieto dal 1 al 15 dicembre e dal 15 al 30 gennaio. In questo caso il periodo di sospensione di 90 giorni deve tener conto del numero dei giorni di interruzione del divieto.
- Divieto di uso dei liquami se possono venire a diretto contatto con i prodotti eduli.

UMBRIA

Riferimenti legislativi:

- Delibera della Giunta Regionale del 19/07/2005 n. 1201: Designazione e perimetrazione di ulteriori zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e revisione delle zone designate.
- Delibera della Giunta Regionale del 7/12/2005 n. 2052: Programma d'azione regionale da applicare nelle zone vulnerabili da nitrati designate nel luglio 2005 (DGR 1201).
Documentazione WEB: <http://www.arusia.umbria.it>

Zone Vulnerabili:

1. "Settore orientale dell'Alta Valle del Tevere" (porzione dell'acquifero dell'Alta Valle del Tevere compresa tra gli abitati S. Giustino e Città di Castello).
2. "Gubbio" (porzione dell'acquifero della Conca Eugubina prossima all'abitato di Gubbio).
3. "Valle Umbra a sud del Fiume Chiascio" (porzione dell'acquifero della Valle Umbra compresa tra gli abitati di Assisi e Spoleto).
4. "S. Martino in Campo" (porzione dell'acquifero della Media Valle del Tevere compresa tra gli abitati di Ponte S. Giovanni e Marsciano).
5. "Petrignano di Assisi" (porzione settentrionale dell'acquifero della Valle Umbra in destra del Fiume Chiascio).
6. "Lago Trasimeno".

Misure agronomiche:

- Per le aziende che utilizzano N minerale, c'è l'obbligo di un piano di concimazione che determini le quantità di N da distribuire sulla base dell'equilibrio tra il fabbisogno delle colture e l'apporto di N proveniente dalle precipitazioni atmosferiche, dal terreno (N derivante dalla mineralizzazione delle riserve organiche del terreno) e dalla fertilizzazione (effluenti zootecnici, concimi organici e minerali).
- Le asportazioni di N previste per le colture orticole oscillano da 20 (es. fagiolo e pisello) a 200 (es. pomodoro e peperone) kg/ha.
- Le concimazioni azotate con fertilizzanti di sintesi sono consentite soltanto in presenza della coltura ed eccezionalmente, nei seguenti casi in presemina: 1) su colture annuali a ciclo primaverile-estivo, limitando al massimo il periodo intercorrente tra fertilizzazione e semina; 2) nell'impiego di concimi con più elementi nutritivi; in questi casi la somministrazione di N in presemina non può essere superiore a 30 kg/ha, fatte salve situazioni particolari opportunamente documentate. Non sono comunque ammessi apporti in una unica soluzione superiori ai 100 kg/ha di N per le colture erbacee ed orticole.
- Misure per la razionalizzazione dell'irrigazione e della fertirrigazione, allo scopo di limitare le perdite di N per lisciviazione. Es.: il fertilizzante deve essere immesso nell'acqua di irrigazione dopo aver somministrato circa il 20-25 per cento del volume di adacquamento; la fertirrigazione deve completarsi quando è stato somministrato l'80-90 per cento del volume di adacquamento.
- Divieto di uso dei liquami nei casi in cui questi possano venire a diretto contatto con i prodotti eduli.

Rete Interregionale per la Ricerca Agraria, Forestale, Acquacoltura e Pesca



**Ministero delle Politiche
Agricole e Forestali**



**Conferenza delle regioni
e delle provincie Autonome**

La Rete Interregionale per la Ricerca Agraria, Forestale, Acquacoltura e Pesca

La Rete Interregionale per la ricerca agraria, forestale, acquacoltura e pesca si è costituita spontaneamente alla fine del 1998 al fine di creare sinergie tra le Regioni e le Province Autonome; riconosciuta formalmente dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome il 4 ottobre 2001 tramite l'approvazione di un documento di intenti, ha tra i propri scopi quello di contribuire alla definizione del Piano Nazionale triennale della Ricerca sul sistema agricolo, di fornire supporto tecnico agli Assessorati regionali all'agricoltura nei diversi settori interessati, di portare avanti un percorso comune per definire metodologie e creare sinergie per promuovere progetti di ricerca comuni a più Regioni e/o Province Autonome.