

Autori:

Barbieri Giancarlo
Cavani Luigi
Ciavatta Claudio
De Pascale Stefania
Garibaldi Angelo
Gianquinto Giorgio
Mencarelli Fabio
Pardossi Alberto
Orsini Francesco
Pisante Michele
Sambo Paolo
Stanghellini Cecilia
Tei Francesco

Edito da **P.A.N.** Piante Acqua Natura srl, Via della Croce Rossa, 112 – 35129 Padova (Italy)
Manuale realizzato nell'ambito del progetto “**Sustgreenhouse - La serra sostenibile: azione dimostrativa per una serricoltura intensiva a zero emissioni**” –

WWW.SUSTGREENHOUSE.EU,

cofinanziato dal programma **LIFE+** Environment policy and Governance 2007

LIFE07/ENV/IT/000516

ISBN 978-88-902948-2-2

Stampato in Italia da System Graphic srl, Roma

Coordinamento progettuale: Giuseppe Izzo - **ARSIAL**

Versione su web di Stefano Carrano - **www.carrano.it.gg**

Anno 2011

INDICE (cliccare sulla voce desiderata)

Presentazione	11
Introduzione all'orticoltura sostenibile	13
Le criticità dell'orticoltura protetta.....	14
Impatto ambientale dei prodotti fitosanitari.....	16
Il giusto apporto di acqua e nutrienti	16
Il terreno agrario	18
Introduzione.....	18
Tipologie e caratteristiche fisico-chimiche dei suoli agrari	18
Composizione del terreno.....	21
Tenacità.....	25
Adesività	25
Plasticità	25
Comportamento dell'aria nel terreno	25
Struttura minerale	27
Porosità.....	28
Componente organica	29
Fosforo assimilabile	32
Potassio (K), Calcio (Ca) e Magnesio (Mg) scambiabili	33
Dinamica e disponibilità di cationi, anioni e metalli pesanti.....	34
Lo scambio cationico	37
Lo scambio anionico	37
I metalli pesanti.....	38
Contenuto in Cadmio (Cd) totale	38
Contenuto in Cromo (Cr) totale.....	39
Contenuto in Nichel (Ni) totale.....	39
Contenuto in Piombo (Pb) totale.....	39
Contenuto in Rame (Cu) totale	39

Contenuto in Zinco (Zn) totale	39
Reazione o pH	40
Calcare totale e calcare attivo	42
Il problema della salinità	42
L'acqua.....	47
L'acqua nell'atmosfera	47
Precipitazioni	48
Evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione	49
L'acqua nel terreno.....	50
Umidità del terreno	50
L'acqua nella pianta	50
Funzioni dell'acqua nella pianta.....	51
Il continuum suolo-pianta-atmosfera	52
L'evapotraspirazione	53
Influenza del clima su ET.....	54
La stima di ET_0	55
Gli stress idrici e salini.....	57
Stress idrico	57
Stress salino	58
La sostanza organica nel terreno	61
Cessione dell'azoto da concimi organici: il ruolo della temperatura	61
Aspetti applicativi	65
Mineralizzazione dell'azoto organico in concimi a base di gelatina per uso agricolo.....	65
Aspetti applicativi	73
La nutrizione minerale: carenza ed eccesso dei nutrienti e ottimizzazione della fertilizzazione.....	75
Carenza ed eccesso dei nutrienti	75
Diagnosi dei disordini nutrizionali mediante sintomi visibili.....	79

Concentrazione critica dei nutrienti.....	84
Ottimizzazione della fertilizzazione	87
Bilancio dell'azoto	88
Metodi di stima dei fabbisogni di concimazione azotata delle colture.	99
Opzioni agronomiche per l'ottimizzazione della fertilizzazione azotata	106
Ottimizzazione della fertilizzazione fosfatica	107
Ottimizzazione della fertilizzazione potassica.....	109
Ottimizzazione della fertilizzazione con microelementi.....	111
Il controllo dell'irrigazione.....	114
Introduzione.....	114
Il pilotaggio dell'irrigazione	115
Metodo del bilancio idrico	116
Metodo dei sensori di umidità	119
Conclusioni.....	122
Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole	124
Introduzione.....	124
Rapporti tra qualità dell'acqua e sistema suolo-acqua-pianta	125
Tolleranza alla salinità	127
Tolleranza a ioni specifici.....	133
Interventi possibili	138
Allegati.....	140
La fertirrigazione, un utile strumento per un'orticoltura sostenibile.....	144
Introduzione.....	144
I fabbisogni delle colture.....	144
L'ambiente pedoclimatico.....	146
La soluzione nutritiva.....	149
I sistemi di distribuzione	152
Conclusioni.....	154

La gestione climatica della serra, con particolare riguardo all'azione dei fattori luce, temperatura, CO₂	155
Riassunto	155
Introduzione.....	155
La coltura.....	156
Assimilazione netta.....	156
Sviluppo vegetativo.....	157
Allegagione e crescita dei frutti.....	157
Distribuzione degli assimilati e produzione.....	159
La serra	159
Effetto della scelta delle proprietà termiche e radiative della copertura	162
Effetto della progettazione delle aperture	164
Ventilazione e anidride carbonica.....	165
Il clima	167
Serra passiva o serra attiva?	168
Discussione	169
Conclusioni.....	171
La difesa delle colture orticole dai parassiti del terreno	172
Alternative chimiche	172
Alternative fisiche	174
Alternative agronomiche.....	174
La postraccolta sostenibile degli ortaggi.....	177
Quali sono i problemi postraccolta degli ortaggi.....	177
Protezione del prodotto dalla perdita di acqua	179
Prerrefrigerazione per gli ortaggi	180
Conservazione	187
La gestione postraccolta di carciofo, lattuga, peperone, pomodoro da mensa, zucchini.....	189

Carciofo	189
Indici di maturità e metodi di determinazione	189
Indici di qualità	189
Raccolta.....	190
Alterazioni postraccolta e precauzioni	191
Preparazione per il mercato (condizionamento)	192
Prerefrigerazione	193
Idrorefrigerazione.....	193
Aria forzata	194
Conservazione	194
Trasporto	194
Merchandising	195
Scheda	196
1. Conservazione.....	196
2. Produzione di etilene	196
3. Sensibilità all'etilene.....	196
4. Respirazione in condizioni di buio	196
Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua	198
Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione.....	198
Raccomandazioni per l'aria forzata.....	198
Lattuga	199
Indici di maturità e metodi di determinazione	199
Indici di qualità	199
Raccolta.....	200
Alterazioni postraccolta e precauzioni	200
Preparazione per il mercato (condizionamento)	202
Prerefrigerazione	203
Conservazione.....	204

Trasporto	204
Merchandising	205
Scheda	206
1. Conservazione.....	206
2. Produzione di etilene	206
3. Sensibilità all'etilene.....	206
4. Respirazione in condizioni di buio ml/kg-ora	206
Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua	208
Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione.....	208
Raccomandazioni per l'aria forzata.....	208
Peperone.....	209
Indici di maturità e metodi di determinazione	209
Indici di qualità	209
Raccolta.....	209
Alterazioni postraccolta e precauzioni	210
Preparazione per il mercato (condizionamento)	211
Prerefrigerazione	212
Conservazione.....	213
Maturazione artificiale.....	213
Trasporto	213
Merchandising	214
Scheda	215
1. Conservazione.....	215
2. Produzione di etilene	215
3. Sensibilità all'etilene.....	215
4. Respirazione.....	215
5. Danno da freddo	215
Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua	218

Pomodoro da mensa	219
Indici di maturità e metodi di determinazione	219
Indici di qualità	221
Raccolta.....	222
Alterazioni postraccolta e precauzioni	222
Preparazione per il mercato (condizionamento)	224
Prerefrigerazione	225
Idrorefrigerazione.....	225
Conservazione	226
Maturazione artificiale.....	226
Trasporto	226
Merchandaising	227
Scheda	228
1. Conservazione.....	228
2. Produzione di etilene	228
3. Sensibilità all'etilene.....	228
4. Respirazione (mg/kg-ora)	228
5. Danno da freddo (allo stadio 1 e 2 di maturazione).....	228
Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua	231
Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione.....	231
Raccomandazioni per l'aria forzata.....	231
Zucchini (Cucurbita pepo)	232
Indici di maturità e metodi di determinazione	232
Indici di qualità	232
Raccolta.....	233
Alterazioni postraccolta e precauzioni	233
Preparazione per il mercato (condizionamento)	234
Prerefrigerazione	235

Idrorefrigerazione.....	235
Conservazione.....	236
Trasporto	236
Merchandising	237
Scheda	238
1. Conservazione.....	238
2. Produzione di etilene	238
3. Sensibilità all'etilene.....	238
4. Respirazione.....	238
5. Danno da freddo	238
Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua	239
Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione.....	240
Raccomandazioni per l'aria forzata.....	240
Riferimenti bibliografici citati nel testo	241
Siti web.....	255

Presentazione

La gestione ecocompatibile dell'attività agricola intensiva, in particolare modo la serricoltura, con una riduzione significativa degli apporti irrigui e degli input chimici, rappresenta non da oggi una priorità per gli operatori del settore.

L'ARSIAL, da tempo sensibile a tali tematiche, ha sviluppato nel triennio 2009-2011 un progetto denominato **<Sustgreenhouse>** in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali dell'Università "Alma Mater Studiorum" di Bologna cofinanziato dal programma LIFE+ gestito dalla direzione Ambiente della Commissione Europea.

Il sito è stato individuato nell'area di Fondi e più precisamente nella zona del lago del Salto ricompreso nel perimetro del parco Regionale dei Monti Ausoni, dove l'orticoltura in serra è largamente praticata da decenni con ovvie ricadute sugli equilibri ambientali dovute a un eccesso di macro e micro nutrienti, oltre che a una ben più pericolosa intrusione di acqua salmastra nelle falde profonde causata in larga parte dalla consuetudine di utilizzare l'irrigazione antibrina con prelievo dalla falda.

In particolare si è provveduto ad operare con modalità che fossero più mirate alla riduzione.

- di emissione diretta o indiretta di GES
- di emungimento dalla falda acquifera
- percolamento nel suolo e diffusione nell'aria di nutrienti ed inquinanti chimici.

senza compromettere gli standard quanti-qualitativi delle produzioni.

I primi risultati, in attesa delle doverose verifiche, sono molto incoraggianti.

La sensibilizzazione e la consapevolezza degli operatori, dei tecnici, degli imprenditori agricoli verso le problematiche affrontate dal progetto ha rappresentato l'altro aspetto trattato.

Un corso di formazione rivolto a tecnici ed imprenditori agricoli articolato in lezioni frontali, visite tecniche aziendali e workshop coordinato da P.A.N. Piante Acqua Natura s.r.l. ha dato vita a questo manuale che raccoglie ed amplia le lezioni tenute nella scorsa estate dall'eccellenza accademica italiana nel campo delle scienze agrarie con una particolare attenzione alle colture in ambiente protetto.

La interdisciplinarietà degli argomenti trattati, l'attualità dei metodi di indagine e di coltivazione, le analisi economiche proposte ne fanno un testo importante nell'attuale panorama dell'agricoltura italiana.

Pertanto esso vuole rappresentare un'utile guida per chi, a vario titolo, voglia approfondire i temi tecnici, economici ed ambientali legati a una gestione sostenibile dell'agricoltura intensiva.

Un ringraziamento va alle strutture dell'Agenzia, al DISTA di Bologna e alla società P.A.N. Piante Acqua Natura s.r.l. e al programma LIFE+ della Commissione Europea senza il cui apporto finanziario tutto ciò non avrebbe visto la luce.

IL Commissario Straordinario dell'ARSIAL

(avv. Erder Mazzocchi)

Introduzione all'orticoltura sostenibile

G. Gianquinto* e F. Orsini

*DISTA – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali – Università degli Studi di Bologna Viale Fanin, 44 – 40127, Bologna- Italy * giorgio.gianquinto@unibo.it*

La politica ambientale della UE ha avuto un notevole impulso negli ultimi vent'anni con l'aggiunta del Titolo Ambiente all'Atto Unico Europeo che sanciva la necessità di un'azione comune per la salvaguardia ambientale e poneva le basi giuridiche per gli interventi sul territorio. Con riferimento al settore agricolo, la UE ha stabilito obiettivi di riduzione del carico ambientale attraverso misure di ammodernamento, diversificazione e conduzione delle aziende compatibili con la tutela dell'ambiente. Tali azioni hanno previsto l'introduzione di incentivi in favore di attività agricole a basso impatto e di interventi di riconversione ed estensivizzazione produttiva (set-aside). Nell'ambito dei Reg. 2078/92 e 1257/99, ad esempio, veniva contemplato un regime diretto di aiuti agli agricoltori che introducevano o mantenevano metodi di produzione agricola compatibili con la protezione e la cura dello spazio naturale. Sempre nell'ottica di riduzione del rischio ambientale, il D.L. 5/2/97 n. 22 promuoveva la riduzione dei rifiuti plastici attraverso il loro riciclo o, laddove questo non fosse attuabile, disponeva l'incenerimento per la produzione di energia termica. Le stesse direttive europee spingono verso una riduzione degli input in agricoltura e incoraggiano pratiche agronomiche mirate a ridurre la perdita di acqua e di elementi nutritivi (Direttiva Comunitaria 60 del 2000 ad integrazione della 676/91). In aggiunta, la certificazione dei sistemi di gestione aziendale (ISO 9000 e 14000), fornisce procedure per l'analisi e la verifica dei "punti critici" del processo produttivo.

Le azioni mirate alla riduzione del rischio ambientale sono di fondamentale importanza in orticoltura. In Italia, la superficie orticola ha presentato un forte calo negli ultimi anni (Figura 1) e ad oggi costituisce circa il 5.4% della superficie totale a seminativo (ISTAT, 2007).

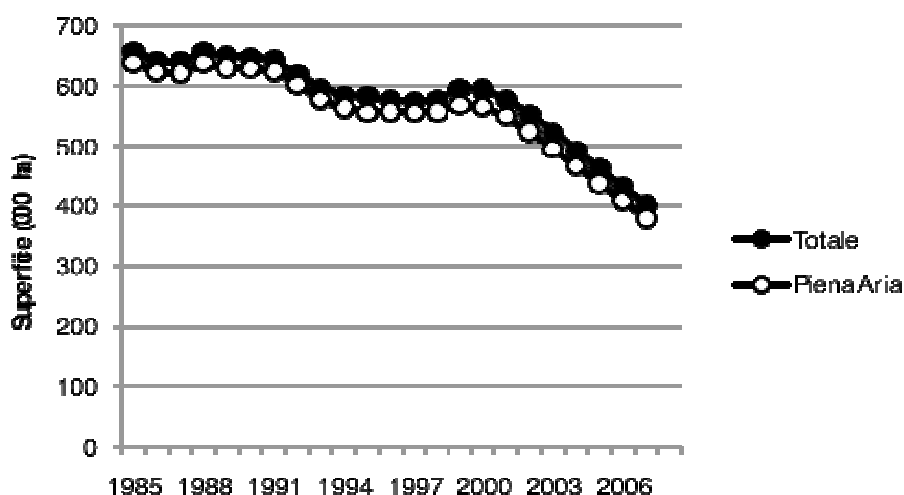


Figura 1 Superficie totale dedicata alla coltivazione di orticole in Italia, inclusi patata e florovivaismo (ISTAT, 2007)

Con una produzione di 16-17 milioni di tonnellate di ortaggi però, presenta un elevato grado d'intensività (22-25 mila ha di superficie protetta) ed una vasta gamma di specie (Figura 2), con netta prevalenza del pomodoro da industria (ISMEA, 2005). Le orticole consentono a tutt'oggi redditi significativi tali da premiare la professionalità e operatività degli imprenditori agricoli. Ciò è testimoniato anche dall'incidenza della PLV del settore nei riguardi della PLV totale a seminativo (12-15%). Tuttavia, bisogna tener presente che l'orticoltura rappresenta un'attività potenzialmente ad elevato impatto ambientale in relazione ai notevoli input richiesti per sostenere le produzioni. Il largo impiego di fattori tecnici e agronomici appare necessario per le peculiarità che contraddistinguono tale settore e che possono essere sintetizzate dal dinamismo degli avvicendamenti colturali, legati più a logiche di mercato che a problematiche agronomiche, e grado di intensivizzazione difficilmente riscontrabili nelle altre produzioni vegetali agrarie. I conseguenti output del processo produttivo sono composti da quantità sempre maggiori di rifiuti e reflui di varia natura ad elevato potere inquinante. Il rischio ambientale è accentuato dal fatto che l'attività orticola interessa di frequente ambienti che, per localizzazione (zone litoranee o vicine a corsi d'acqua, spesso di elevato valore paesaggistico e naturalistico) e condizioni pedo-climatiche (es. terreni sciolti con falde acquifere superficiali), possono essere definiti "altamente sensibili".

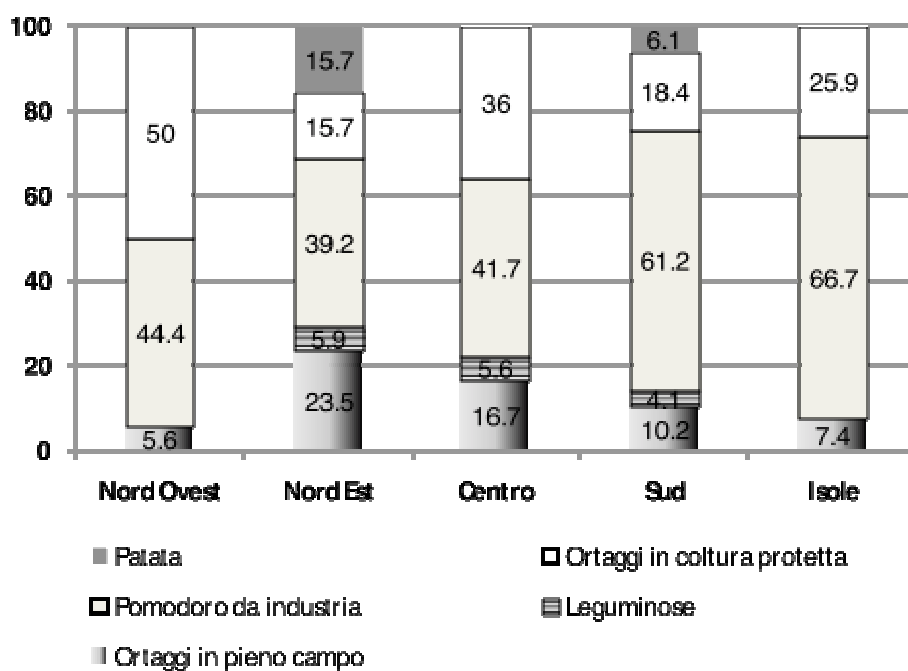


Figura 2 Principali colture orticole in Italia (ISMEA, 2005)

Le criticità dell'orticoltura protetta

Per quanto riguarda gli aspetti di maggior rilievo ai fini dell'impatto ambientale, particolare attenzione deve essere posta alle coltivazioni in serra. I connotati più caratteristici delle colture protette del nostro Paese, analogamente a quelle del bacino del Mediterraneo, sono costituiti da un generalizzato impiego di materiali

plastici di copertura (La Malfa, 1988). L'innalzamento termico, determinato dall'uso di film plastici, come polietilene (PE) e polivinilcloruro (PVC), è sufficiente, infatti, a garantire le esigenze termiche della maggior parte delle specie. L'impiego di tali materiali, tuttavia, determina lo smaltimento d'elevate quantità di plastica, soprattutto a causa della scelta di coperture di breve durata. L'orticoltura intensiva prevede l'impiego consistente anche d'altri mezzi di produzione a base di plastica, come materiali di pacciamatura, condotte d'irrigazione, contenitori di concimi, piantine, antiparassitari, substrati. Una stima del consumo di plastica di serra è intorno ai 5000 kg per ettaro e per anno, di cui 4500 per coperture, impianti irrigui e pacciamatura e 500 kg per contenitori (Barbieri et al., 2000, Barbieri e De Pascale, 2000).

Così, interessando le aree meno favorevoli (per quanto riguarda le disponibilità naturali di energia solare), le colture più esigenti, o particolari tipi di coltivazione (vivaismo, coltivazioni fuori suolo), il ricorso ad impianti di riscaldamento in serra è tra le cause principali d'emissioni gassose nell'ambiente: il combustibile più diffuso è il gasolio mentre meno utilizzato allo stato attuale è il metano, sebbene, data la combustione più completa, produca una quantità minore di sostanze tossiche. L'intervento di riscaldamento è realizzato nella generalità dei casi in modo poco efficiente a causa della cattiva coibentazione delle serre, con riflessi negativi sui costi di produzione oltre che sull'impatto ambientale.

Rilevante nella determinazione dell'impatto ambientale dei sistemi orticoli protetti è anche lo smaltimento delle acque piovane che può generare problemi alle reti viarie e fognarie. Tale inconveniente è maggiormente avvertito laddove gli apprestamenti protettivi si localizzano in aree suburbane. Ancora limitato, anche a causa della ridotta disponibilità di superficie utilizzabile, è il numero di aziende che dispone di vasche di recupero d'acqua meteoriche per usi irrigui.

Nell'ambito delle colture in serra, inoltre, un certo rilievo assumono i sistemi di coltivazione fuori suolo che, seppur ancora poco diffusi (circa 700 ha, Tognoni e Incrocci, 2003), richiedono un impiego consistente di input energetici e mezzi di produzione. Le coltivazioni fuori suolo sono realizzate prevalentemente su substrato con sistemi a ciclo aperto. In questi sistemi il punto cruciale dell'impatto ambientale è rappresentato indubbiamente dalla gestione della fertirrigazione, per la quale vengono utilizzati volumi di soluzione superiori alle esigenze della coltura per evitare accumulo di sali. Il contenimento dei reflui dispersi nell'ambiente è subordinato, quindi, al contenimento della percentuale di drenaggio: nelle colture a ciclo aperto è programmata una percolazione del 15-20%, ma in estate tale limite può salire fino al 30% (Pardossi, 1994 e 2000). Tale gestione da un lato assicura una costante umidità del substrato con un effetto dilavante e dall'altro determina uno spreco d'acqua ed elementi nutritivi (4-5 t/ha/anno), con ripercussioni negative sui costi di produzione e sull'impatto ambientale (Bailey et al., 1988; Benoit e Ceustermans, 1990; van Noordwijk, 1990). Tra i substrati viene utilizzata soprattutto lana di roccia, ma si fa sempre più ricorso ad altri materiali sia organici (es. torba, fibra di cocco) che inorganici (perlite, pomice, ecc.). Lo smaltimento dei substrati esausti si configura come un ulteriore fonte di rifiuti solidi, in particolare con l'impiego di materiali non riutilizzabili (lana di roccia). Questi problemi sono meno sentiti quando si fa ricorso a sistemi a ciclo chiuso (con ricircolo della soluzione nutritiva) e/o che non richiedono l'impiego di substrato (es. NFT).

Impatto ambientale dei prodotti fitosanitari

Oltre alla protezione delle colture dalle avversità climatiche, anche la difesa da agenti biotici viene ritenuta indispensabile al successo economico dell'azienda orticola. La difesa antiparassitaria è realizzata principalmente con la lotta chimica e, in molti casi ancora, avviene secondo calendari d'intervento preventivi e/o con dosi di prodotto eccedenti a quelle consigliate. Una tale gestione degli interventi di difesa oltre ad essere causa d'inquinamento dell'ambiente e dei prodotti (qualità igienico-sanitaria) si configura anche come un costo aggiuntivo. E' da segnalare tuttavia che vi è un crescente ricorso a sistemi di lotta guidata e integrata anche in orticoltura. Nel decennio 1998-2008 la quantità di prodotti fitosanitari distribuiti per uso agricolo diminuisce complessivamente di 15.3 mila tonnellate (-9.2%). In particolare, calano i fungicidi (-6.0%), gli insetticidi e acaricidi (-41.9%) e gli erbicidi (-10.6 %), mentre si riscontra un aumento dei cosiddetti prodotti vari in misura del 62.3 % (ISTAT, 2008). I prodotti molto tossici e tossici si riducono di oltre la metà (-61.7%), mentre quelli non classificabili del 9.3 %; viceversa, i formulati nocivi aumentano del 30.2% (ISTAT, 2008). Nel decennio considerato inoltre, i principi attivi contenuti nei prodotti fitosanitari diminuiscono complessivamente di 3.9 mila tonnellate (-4.7%); in particolare, si riducono le sostanze attive erbicide, insetticide e fungicide, (rispettivamente del 21.0, 29.2 e 4.7%), mentre raddoppiano le varie (+50.3%) (ISTAT, 2008).

Il giusto apporto di acqua e nutrienti

La concimazione e l'irrigazione, sia di colture in serra che in piena aria, rappresentano un altro aspetto di rilievo ai fini dell'impatto ambientale. Nelle regioni meridionali, ad esempio, a causa dell'elevata domanda evapotraspirativa e delle scarse ed irregolari precipitazioni, le risorse idriche sono deficitarie rispetto ai fabbisogni e tale divario è particolarmente sentito in agricoltura, per la crescente richiesta d'acqua per altre destinazioni (civile ed industriale). Inoltre, il continuo emungimento dal sottosuolo si traduce in un abbassamento dei livelli delle falde acquifere ed in infiltrazioni d'acqua marina, con aumento della salinità. Per tali motivi in molte zone costiere, sono destinate all'irrigazione acque di scarsa qualità, con riflessi negativi sulla redditività delle colture e sulla fertilità del suolo (Barbieri e De Pascale, 1992). Inoltre, allo scopo di soddisfare le esigenze delle colture sono spesso utilizzati volumi irrigui eccessivi, con ripercussioni sull'ambiente (salinizzazione del suolo, lisciviazione di nitrati) e sui costi di gestione. Per la misurazione dell'acqua nel terreno sono disponibili attualmente strumenti di misura, che stanno diventando sempre più economici e quindi utilizzabili nelle comuni pratiche agricole. Tra questi, si distinguono quelli basati sulla riflessione dell'onda nel dominio del tempo (Time Domain Reflectometry, TDR) (Topp et al., 1980) che permettono di monitorare in continuo (su base giornaliera o anche oraria) la dinamica del contenuto idrico del suolo e quindi ottimizzare l'apporto dei volumi irrigui. Il metodo del TDR, sviluppato per la prima volta da Davis e Chudobiak nel 1975, si basa sul concetto che la costante dielettrica del suolo E_0 è influenzata dal contenuto di acqua del suolo stesso (O_v) (Pagliai, 1997). Va inoltre ricordato che la diffusione dei sistemi a microportate d'irrigazione ha ridotto in misura considerevole il ricorso ai metodi tradizionali per scorrimento superficiale ed infiltrazione, con effetti positivi sulla conservazione del suolo per la riduzione dei fenomeni di erosione e ruscellamento.

Per quanto riguarda la concimazione il punto cruciale riguarda le perdite di azoto, legate principalmente alla lisciviazione dei nitrati nel terreno, e il peggioramento delle caratteristiche igienico-sanitarie dei prodotti (accumulo di nitrati). Se è vero che l'introduzione di misure agroambientali, mirate ad orientare gli agricoltori verso metodi di gestione delle imprese più rispettosi dell'ambiente (Reg. CE n.2078/1992, 1257/1999 e 60/2000), hanno permesso in questi ultimi anni di ridurre significativamente l'uso di fertilizzanti, ancora in troppi casi si verificano concimazioni in eccesso o con modalità non idonee. E' ormai noto che una accurata gestione della concimazione minerale azotata debba prevedere la distribuzione frazionata in più interventi di copertura (Vos e Struik, 1992) che permettono di aumentare l'efficienza della fertilizzazione e diminuire le perdite per lisciviazione (Westermann et al., 1988; Errebhi et al., 1998; Vos, 1999; Gianquinto et al., 2004). Tuttavia in molti casi l'azoto viene apportato in una unica soluzione o, al massimo, in un paio di interventi molto ravvicinati all'inizio del ciclo. Anche qualora si intervenga con apporti frazionati utilizzando sistemi di fertirrigazione, spesso si opera con metodi empirici che non tengono conto delle reali esigenze delle colture. Anche l'impiego di fertilizzanti organici non esclude però i rischi di inquinamento che possono insorgere per effetto della lisciviazione quando si ha una rapida mineralizzazione dell'azoto e quando gli apporti di acqua (irrigua e meteorica) superano la domanda evapotraspirativa (Demyttenaere et al. 1991; Wichmann, 1996). A ciò si aggiunga che le condizioni termo-radiative che si registrano in alcuni periodi o all'interno delle serre possono talora ostacolare i processi di assorbimento e di assimilazione dei nutrienti (Leonardi et al., 1999). L'ottimale gestione della fertilizzazione dovrebbe prevedere la somministrazione di nutrienti sulla base dell'effettive esigenze della coltura. Ciò richiede la disponibilità di strumenti o metodi in grado di effettuare una stima della disponibilità di azoto nel terreno e/o dello stato nutrizionale della coltura durante l'intero ciclo produttivo. Due strumenti che stanno suscitando un crescente interesse negli ultimi anni sono un misuratore di clorofilla portatile (SPAD) e dei radiometri multi-spettro (Cropscan), che hanno dimostrato di poter stimare il contenuto di azoto di alcune colture e la produzione finale (Turner e Jund, 1991; Wood et al., 1992; Piekielek e Fox, 1992; Vos e Bom, 1993; Sandoval-Villa et al., 1999 e 2000; Ma et al., 1996; Blackmer e Schepers, 1995; Johnkutty e Palaniappan, 1996; Gianquinto et al., 2004, 2009).

Sulla base di quanto sinteticamente esposto, in relazione ai notevoli input energetici e tecnico-agronomici e agli altrettanto elevati output composti da quantità sempre maggiori di rifiuti solidi di varia natura e reflui di elevato potere inquinante, risultano quanto mai urgenti in questo settore: a) l'identificazione di sistemi di gestione dei fattori produttivi alternativi a quelli tradizionali; b) una attività di monitoraggio che, sulla base di informazioni acquisite sul territorio e con applicazione di adeguati modelli, fornisca giudizi di sintesi sull'impatto ambientale e, al tempo stesso, permetta di definire linee operative diversificate in relazione alla localizzazione dell'attività produttiva, alle tecniche impiegate ed all'ambiente pedoclimatico considerato. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, programmi di monitoraggio finalizzati alla valutazione ambientale sono stati avviati in alcune realtà limitatamente a sistemi agricoli comprendenti le grandi colture erbacee (cereali, soia, barbabietola da zucchero), mentre al momento attuale sono ancora carenti le informazioni sui sistemi orticoli.

Il terreno agrario

M. Pisante*

*Centro di Ricerca e formazione in agronomia e produzioni vegetali – Dipartimento di Scienze degli Alimenti, Università degli Studi di Teramo Via C.R. Lerici, 1 – 64023, Mosciano S. Angelo (TE), Italy * mpisante@unite.it*

Introduzione

Il terreno agrario è lo strato superiore della crosta terrestre, interfaccia tra la terra (geosfera), l'aria (atmosfera) e l'acqua (idrosfera), formato da particelle minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi¹. È una risorsa vitale e in larga misura non rinnovabile, sottoposta a crescenti pressioni, che assicura una serie di funzioni chiave, a livello ambientale, sociale ed economico, indispensabili per la vita e svolge un ruolo insostituibile per la protezione dell'acqua e lo scambio di gas con l'atmosfera, grazie alle sue diverse funzioni: magazzinaggio, filtraggio, tampone e trasformazione. È anche un habitat e un pool genico, un elemento del paesaggio e del patrimonio culturale ed una fonte di materie prime.

Il terreno agrario si presenta come un sistema che può scambiare col suo esterno (atmosfera, altre parti dello stesso suolo o rocce adiacenti, piante ecc.) sia energia (il sistema perciò non è isolato) e sia materia (il sistema è perciò aperto: si hanno perdite per percolazione, evaporazione, erosione, assorbimento da parte delle piante, ecc.). Affinché il terreno agrario possa svolgere le sue diverse funzioni, è necessario preservarne le condizioni. Le attività antropiche, prime fra tutte, esercitano una pressione crescente per la degradazione, riducendo progressivamente la capacità di svolgere le proprie funzioni. Erosione, diminuzione della sostanza organica, contaminazione locale e diffusa, impermeabilizzazione, compattazione, diminuzione della biodiversità e salinizzazione sono tra le più diffuse e preoccupanti.

Tipologie e caratteristiche fisico-chimiche dei suoli agrari

Il terreno è una matrice complessa caratterizzata da una componente organica formata da organismi vivi o morti, alterati e/o decomposti; una componente inorganica; acqua e aria. La parte del terreno agrario più superficiale, direttamente utilizzata dall'agricoltura, prende il nome di suolo, la parte sottostante sottosuolo. Il terreno si forma attraverso l'azione di agenti atmosferici, processi fisici e chimici si chiama terreno naturale che si origina per pedogenesi, il risultato di tre processi distinti: 1. disgregazione fisico-meccanica e alterazione chimica delle rocce, operate dai fattori climatici e biotici, ma anche dagli agenti di erosione che porta alla formazione di una massa di detriti minerali. 2. aggiunta ai detriti minerali di una quantità, progressivamente crescente, di sostanza organica fornita dalla vegetazione spontanea e pioniera che colonizza il terreno in formazione, anche mediante il pool di organismi del terreno. 3. traslocazione di sostanze solubili e colloidali da un punto all'altro della massa detritica ad opera dell'acqua che circola in soluzione, ultimo stadio della pedogenesi.

¹Definizione ISO (*International Standards Organisations*); doc. ISO 11074-1 del 01/08/1996.

Si forma, invece, il terreno agrario quando subentra l'attività antropica di messa a coltura, semina, trapianto e allevamento delle piante ad opera dell'uomo, attraverso la specializzazione colturale, la concimazione organica ed inorganica apportando nuovi elementi alla matrice minerale ed anche con le lavorazioni con l'inversione degli strati.

Tuttavia, l'azione dell'uomo sulla genesi e sulle caratteristiche del terreno agrario è residuale, come nel caso del suolo che ospita delle formazioni naturali (pascoli, prati naturali, ecc.) che l'agricoltore si impegna a mantenere in efficienza produttiva, ma tale azione può giungere non di rado a trasformare sostanzialmente il substrato originario, così da trasformare terreni naturali poveri o inospitali in fertili terreni agrari.

Mentre il terreno naturale differenzia di solito uno strato illuviale al di sopra della matrice pedogenetica o roccia madre, nel caso del terreno agrario la zona esplorata dalle radici, il suolo, si distingue in due soli strati: lo strato eluviale e lo strato illuviale (Figura 3).

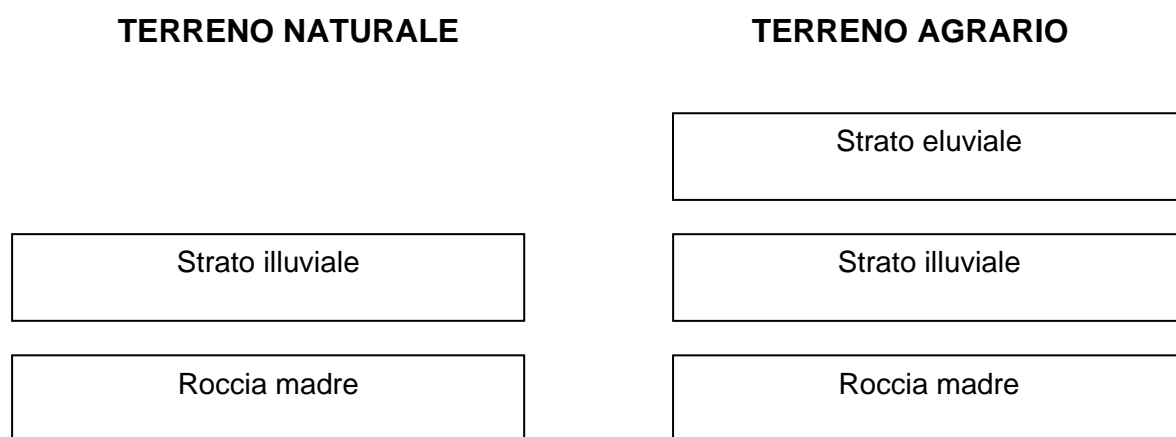


Figura 3 Terreno naturale e terreno agrario. Il terreno agrario, a seguito degli interventi agronomici presenta uno strato addizionale eluviale, definito anche strato attivo

Tuttavia, nella pratica sovente si possono distinguere diversi orizzonti litologici secondo il tasso di degradazione della roccia e le differenti caratteristiche chimico fisiche degli strati. Più precisamente, procedendo dal piano campagna verso gli strati inferiori si possono classificare (Figura 4):

- lo strato più superficiale che prende il nome di "orizzonte superiore", comunemente indicato con la lettera O, è caratterizzato dalla sostanza organica indecomposta;
- l'orizzonte immediatamente sottostante è invece composto da sostanza organica in via di decomposizione. Esso prende il nome di "orizzonte umico" ed è indicato con A;

- l'orizzonte E è costituito sia da sostanza organica decomposta, sia da sostanze minerali derivanti dalla alterazione della roccia sottostante a causa dei processi di eluviazione. Infatti, esso viene indicato anche come “orizzonte eluviale”;
- l'orizzonte B è rappresentato da uno strato fortemente alterato ove, a causa di processi di illuviazione, si sono concentrati alcuni elementi e composti provenienti dall'orizzonte E viene indicato anche con il nome di “orizzonte fluviale”;
- l'orizzonte C è normalmente costituito esclusivamente da roccia alterata;
- l'orizzonte R rappresenta la roccia sottostante inalterata comunemente indicata come roccia madre.

Per un sistema complesso come il suolo è difficile individuare un solo criterio di classificazione in quanto sono diversi i parametri che si possono evidenziare in funzione degli scopi per i quali la classificazione stessa viene eseguita (agronomici, ambientali, ecc.). Inoltre, pur riferendosi allo stesso parametro, esistono classificazioni diverse. In termini generali: i suoli possono essere classificati in base alla granulometria del sedimento in essi contenuto. Si distinguono, quindi, suoli "sabbiosi", "argillosi" e "limosi" a cui si associano caratteristiche differenti. Esistono, però, diverse classificazioni che definiscono le classi granulometriche.

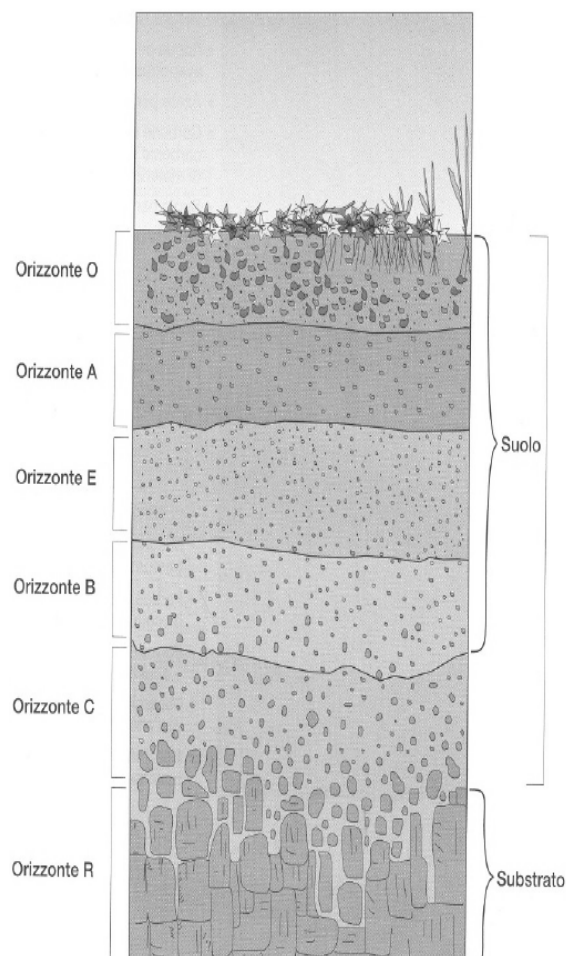


Figura 4 Orizzonti di un suolo tipo

Composizione del terreno

Il terreno è una struttura porosa composta (Volume/Volume) da tre fasi:

- FASE SOLIDA, 50-60%, a sua volta suddivisa in:
 - struttura minerale, 45-60%;
 - sostanza organica, 0-5%.
- FASE LIQUIDA, acqua, 25-35%;
- FASE GASSOSA, aria, 15-22%.

Le tre fasi possono essere presenti in rapporti quantitativi molto diversi, variabili non solo da terreno a terreno, ma anche nel tempo per uno stesso terreno. Ciò offre una prima possibilità di definire alcuni parametri utili per caratterizzare un terreno in un dato istante. Nell'ambito di ognuna di queste fasi è spesso opportuno distinguere porzioni di materia omogenee, almeno nel senso macroscopico richiesto a livello della fisica elementare (escluso, per esempio, il livello atomico-molecolare). La parte solida del terreno è sempre polifasica (per esempio ogni minerale che la compone può costituire una fase a sé; possono esserlo sostanze adsorbite prelevate dalla fase liquida e da quella gassosa); almeno in prima approssimazione, le parti liquida e gassosa si possono considerare ciascuna monofasica.

Di queste parti del terreno, quella solida, sia inorganica che organica, assolve nei riguardi delle piante e di ogni organismo terricolo una funzione di sostegno meccanico, di contenitore, di accumulo e immobilizzazione (di varia durata) e, in genere, di controllo dello stato e della dinamica di sostanze chimiche (importanti quelle che costituiscono i cosiddetti nutrienti e i potenziali inquinanti), sia contenute nel materiale originario sia apportate dall'esterno. Assumono in proposito un ruolo notevolissimo le manifestazioni che possono avere luogo alla superficie delle particelle solide, le quali possono essere considerate, sotto certi aspetti, vere e proprie fasi a sé (soprattutto le interfacce liquido- solide); vi possono aver luogo tanto processi relativamente diffusi (adsorbimenti e manifestazioni di carattere elettrostatico), quanto trasformazioni connesse a siti particolari caratterizzati da gruppi funzionali specifici (per esempio azioni catalitiche), con reattività che può essere anche influenzata da siti adiacenti. La parte liquida e quella gassosa, come fasi fluide, oltre alla funzione di contenitori delle sostanze costituenti e di quelle in esse disciolte, svolgono fondamentali ruoli di trasporto, notevolmente differenziati in relazione alla loro varia affinità per sostanze diverse (per esempio notevoli i ruoli della fase liquida nei riguardi delle sostanze allo stato ionico e/o solubili in acqua, come nutrienti, agrofarmaci, ecc., e quello della fase gassosa per gli scambi con l'esterno del suolo di O_2 e CO_2 come per il trasporto di prodotti gassosi vari, specialmente se solubili nella fase liquida ma volatili, per esempio ammoniaca, e agrofarmaci volatili), importanti sono, infine, gli scambi di materiale tra le tre parti del terreno (processi di adsorbimento, solubilizzazione, precipitazione, evaporazione, ecc.).

I parametri di uso più comune per caratterizzare un terreno in un dato istante, oltre a quelli generici, sono i seguenti: **m** per massa, **V** per volume, **p** per massa volumica con pedici: **a** per la parte gassosa (aeriforme), **l** per parte liquida, **s** per la parte solida, **Σ** per insieme delle tre parti.

Spesso si ritiene opportuno riferire le quantità in volume di queste tre parti all'unità di superficie del suolo e quindi come altezze equivalenti (assolute: perciò come $V/A = z$ rispettivamente per aria, liquido e solidi, generalmente espressi in mm); ciò è particolarmente utile nella redazione dei bilanci idrici. I pedologi caratterizzano spesso i suoli in maniera analoga (in mm), ma riferendosi a una profondità di 1 m, cioè come altezza equivalente relativa (numericamente equivalgono alle corrispondenti quantità volumiche espresse in "per mille").

$$\rho_{aps} = m_s/V_\Sigma$$

La massa volumica apparente del terreno è il volume che l'intero sistema occupa, inclusi cioè i pori in varia misura pieni di aria e/o di acqua, mentre per massa si considera solo quella dei solidi. Questo parametro, calcolato per un terreno umido rigonfiabile può avere valore inferiore a quello dello stesso terreno allo stato secco. In pratica, ρ oscilla tra 1100 e 1600 kg/m³; nei terreni torbosi è spesso <1000 kg/m³. È una proprietà che può variare molto nel tempo, tanto bruscamente (con le lavorazioni) che gradualmente, irreversibilmente (per esempio per assestamento senza particolare intervento antropico) o reversibilmente (terreni rigonfiabili).

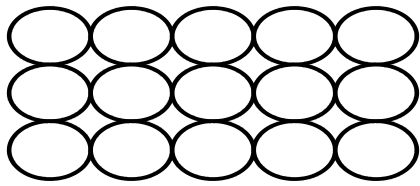
$$\rho_{map} = V_\Sigma / m_s = 1 / \rho_{aps}$$

Alla massa volumica apparente si contrappone la cosiddetta massa volumica reale, cioè la massa volumica media della parte solida data da:

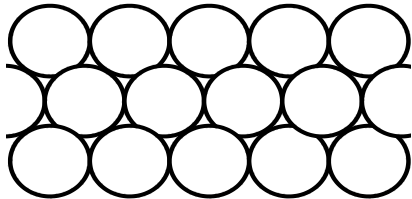
$$\rho_s = m_s/V_s$$

Essa è praticamente una costante del terreno; in genere è compresa tra i 2000 kg/m³ (circa) del calcare e i 5000 kg/m³ (circa) di certi ossidi di ferro, con valori medi compresi intorno ai 2650 kg/m³ (un po' meno nei terreni argillosi). Si ricorda che i corrispondenti "pesi volumici" (impropriamente indicati per lo più come "pesi specifici"), apparente (ρ_{aps}) e reale (ρ_s), si ottengono dalle formule precedenti sostituendo alle masse i rispettivi pesi. Il peso specifico apparente (ρ) è pari alla massa volumica apparente moltiplicata per l'accelerazione di gravità ($\rho_{aps} = \rho_{aps} * g$) e ha dimensioni di una forza diviso un volume (Cavazza e Patruno, 2005).

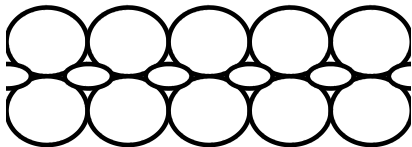
Con il termine di struttura si identifica la composizione mineralogica che lo caratterizza, ovvero la disposizione che le particelle solide del terreno assumono l'una rispetto all'altra nonché la composizione della componente organica in esso presente (Figura 5).



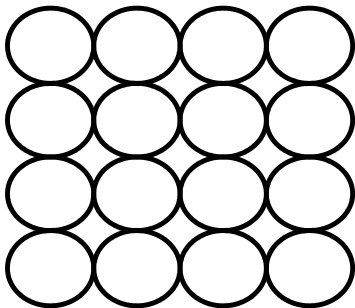
terreno teorico: un tipo di particella, massima porosità (48%)



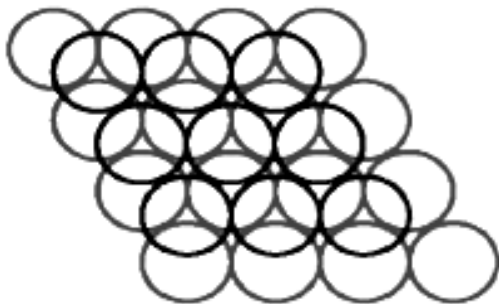
terreno teorico: un tipo di particella, minima porosità (26%)



terreno teorico: due particelle, minima porosità



modello cubico, 47,6% porosità



modello tetraedrico, 25,9% porosità

Figura 5 Struttura del terreno agrario: modelli teorici

Schematicamente, si possono avere due condizioni estreme:

1. struttura granulare (o tessiturale, o mancanza di struttura), quando le particelle (siano esse limo, argilla o sabbia) assumono una disposizione di massimo assetamento: in questo caso il terreno avrà una porosità che dipende dalla dimensione dei suoi componenti originari e quindi gli spazi fra particella e particella saranno ampi se queste hanno dimensioni notevoli (terreni con prevalenza di sabbia) mentre saranno molto piccoli con particelle di piccole dimensioni (terreni con prevalenza di argille);
2. struttura grumosa (o glomerulare, o stato strutturale), quando le particelle di dimensioni minori, come limo e argilla, determinano fenomeni di aggregazione, unendosi in grumi, all'interno dei quali gli spazi interstiziali fra particella e particella sono assai ridotti (microporosità), mentre fra grumo e grumo si formano spazi assai più grandi (macroporosità); la formazione degli aggregati è resa possibile dalla presenza di cementi colloidali organici o minerali. Le sostanze cementanti più efficaci sono quelle di natura organica presenti nell'humus o derivanti dalla decomposizione. Esse, infatti, sono costituite da lunghe molecole filamentose capaci di legare i microscopici frammenti minerali fino a costituire i grumi visibili ad occhio nudo.

La struttura non è una proprietà statica del terreno e, poiché varia rapidamente per effetto di numerosi fattori come per esempio l'azione battente della pioggia o il calpestio delle macchine operatrici, come cause di natura fisica, o la deflocculazione dei colloidali per carenza di Ca o per eccesso di Na, come cause chimiche, nei terreni agrari essa deve essere continuamente ripristinata.

La struttura nei terreni deriva dall'aggregazione di particelle, favorita dall'azione di colloidali, sia minerali (argille, ossidi, idrossidi) sia organici (humus e composti intermedi) che le cementano. Affinché questo avvenga, i colloidali devono trovarsi in uno stato di coagulazione (flocculazione), a sua volta favorito da diversi fattori, tra i quali si evidenzia l'azione positiva di una buona dotazione di ione Ca mentre il Na, ad alti livelli, può avere un'azione deflocculante.

Un altro fattore che contribuisce alla formazione della struttura è l'alternanza di inumidimento ed essiccazione del terreno, che determina variazioni di volume dello stesso; un'azione simile, da un punto di vista fisico, è esercitata dall'alternanza tra gelo e disgelo, che ha però anche effetti chimici utili allo stesso fine.

Tra i mezzi a disposizione dell'agricoltore per realizzare artificialmente condizioni idonee ad ospitare le piante coltivate, in terreni che si sono rassodati, i più importanti sono di gran lunga le lavorazioni. Penetrando il terreno con organi che lo rompono e in parte lo rimescolano, la lavorazione riduce lo strato superficiale in zolle di varie dimensioni, al di sotto delle quali si trovano ampie cavità; la struttura si formerà col tempo, trasformando le zolle in ammassi di glomeruli porosi, grazie soprattutto all'azione dei fattori naturali sopra descritti. A questo fine, le più recenti pratiche di gestione conservativa del suolo dimostrano come la non lavorazione e la semina su sodo in combinazione con gli avvicendamenti colturali e la permanente copertura del suolo con i residui colturali vivi o in via di decomposizione, svolgano una sinergica azione per i suoli con capacità autostrutturanti, migliorando la capacità di infiltrazione delle acque meteoriche nel profilo sottosuperficiale, riducendo le perdite di umidità e favorendo lo sviluppo volumetrico degli apparati radicali (Pisante, 2007). Infatti, la

formazione della struttura è favorita in tutti i terreni dove non si arreca disturbo alla micro, meso, macro fauna e agli apparati radicali, dove si innescano virtuosi processi di degradazione della sostanza organica e chimici (stati di flocculazione e de flocculazione dei colloidali).

Altri strumenti tecnici sono le letamazioni, l'apporto di calcio o di altri ioni ad azione flocculante, l'adozione di ordinamenti colturali adeguati (rotazioni, colture intercalari, consociazioni), pacciamatura artificiale e pacciamatura verde o inerbimento.

Tenacità

È la proprietà del terreno di opporre resistenza alla penetrazione degli attrezzi ed è il principale fattore responsabile della resistenza all'avanzamento nel suolo degli organi lavoranti. È strettamente legata alla coesione (capacità delle particelle di legarsi saldamente tra loro) e quindi risulta più elevata nei terreni a grana fine (terreni argillosi) e minima in quelli sabbiosi.

Adesività

Indica la tendenza del terreno ad aderire agli organi lavoranti, aumenta con l'aumentare dell'umidità del suolo, fino ad un massimo che varia con il tipo di terreno. Anche una forte adesività può aumentare di molto lo sforzo richiesto per eseguire una lavorazione.

Plasticità

Indica la capacità del terreno di farsi modellare e di mantenere la forma derivante dalle lavorazioni; essa è in funzione dell'umidità che non deve essere né troppo elevata, né troppo scarsa. Infatti, quando l'umidità è troppo elevata, il terreno diventa fluido mentre quando è scarsa il terreno non è più modellabile ed aumenta la propria tenacità.

Comportamento dell'aria nel terreno

L'aria contenuta nel terreno è indispensabile per consentire la respirazione alle radici delle piante e per tutti gli organismi aerobici presenti nel terreno stesso ed è, quindi, importante quanto la componente solida e quella liquida. Una carenza di aria derivante da eccessiva compattazione del terreno o da troppa umidità, rallenta gli scambi gassosi delle radici, con conseguente riduzione dell'attività di assorbimento radicale e dello sviluppo dello stesso apparato ipogeo; inoltre, condizioni asfittiche inibiscono processi favorevoli alla vita delle piante (umificazione, nitrificazione, ecc.), favorendo le attività anaerobiche, quali la denitrificazione e la formazione di composti nocivi alle piante. Una sufficiente aerazione del terreno è quindi una componente essenziale della fertilità. D'altra parte, una eccessiva aerazione può essere altrettanto dannosa, in quanto può accelerare i processi di ossidazione della sostanza organica, soprattutto in presenza di alte temperature, favorendo la perdita di umidità.

L'aria del terreno ha una composizione diversa da quella atmosferica e la differenza aumenta via via che ci si allontana dalla superficie (Figura 6). Le modificazioni che si verificano rispetto all'aria esterna al terreno riguardano tutte le sue componenti: l'ossigeno diminuisce, poiché viene utilizzato da tutti gli organismi che vivono nel terreno, comprese le radici delle piante superiori. L'anidride carbonica aumenta per la respirazione degli stessi organismi; inoltre, essendo più pesante, tende a

stazionare negli interstizi del terreno; essa è favorevole per l'azione di solubilizzazione di molti elementi nutritivi, ma se in eccesso può interferire con le attività radicali. Il vapor acqueo aumenta, determinando spesso alta umidità relativa, fino al 100%. Detto questo, bisogna però ricordare che la composizione dell'aria nel terreno varia anche notevolmente con il variare delle stagioni, del tipo di terreno, delle lavorazioni, dello stato idrico, del tipo di coltivazione e dell'attività biologica. L'aria esterna ed interna al suolo non sono separate, esse comunicano e sono in grado di scambiare i propri componenti attraverso il meccanismo della diffusione. In tal modo si verifica un continuo passaggio di ossigeno dall'atmosfera al terreno, ove questo è presente in concentrazione minore, mentre l'anidride carbonica ed il vapor acqueo, presenti in misura maggiore, tendono a migrare verso l'atmosfera per stabilire una condizione di equilibrio. Siccome grazie alla diffusione l'aria del terreno si rinnova è importante favorire questo processo, effettuando tutti quegli interventi che migliorano la struttura (macroporosità) del terreno e favoriscono la circolazione dell'aria. Quindi utili a questo scopo sono le rotazioni per l'arricchimento in sostanza organica ed in genere tutti gli interventi che migliorano la struttura ed impediscono il verificarsi di ristagni idrici, come le lavorazioni senza inversione e/o rimescolamento degli strati, sia per gli effetti in profondità e sia per la rottura della crosta superficiale.

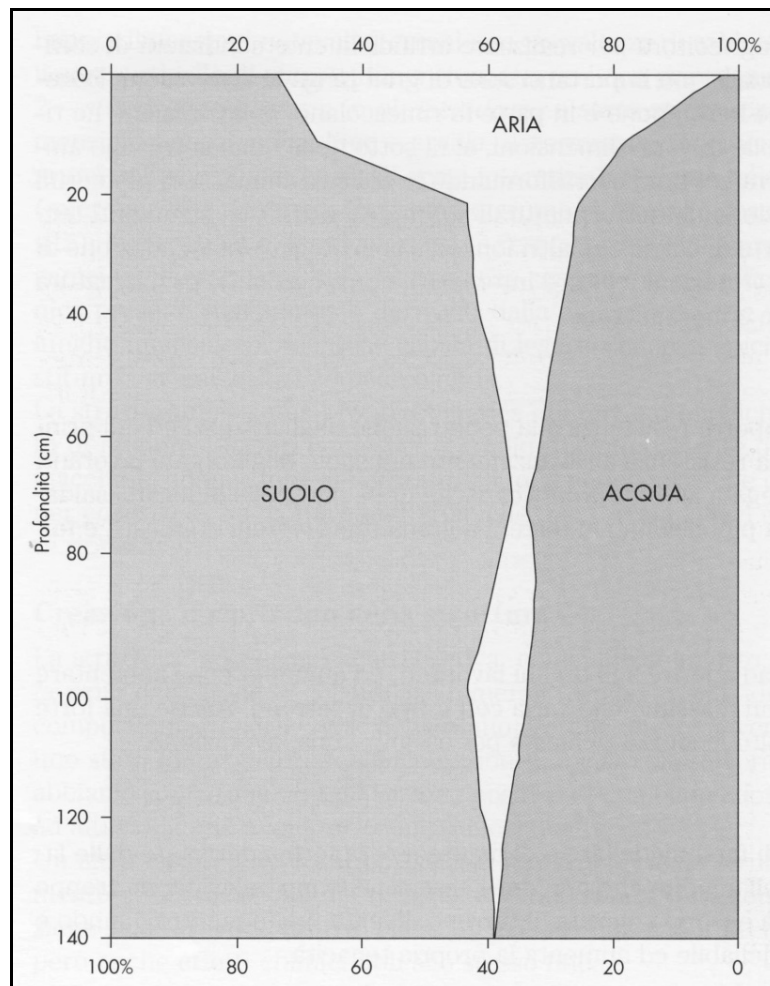


Figura 6 Ripartizione dell'aria e dell'umidità del terreno

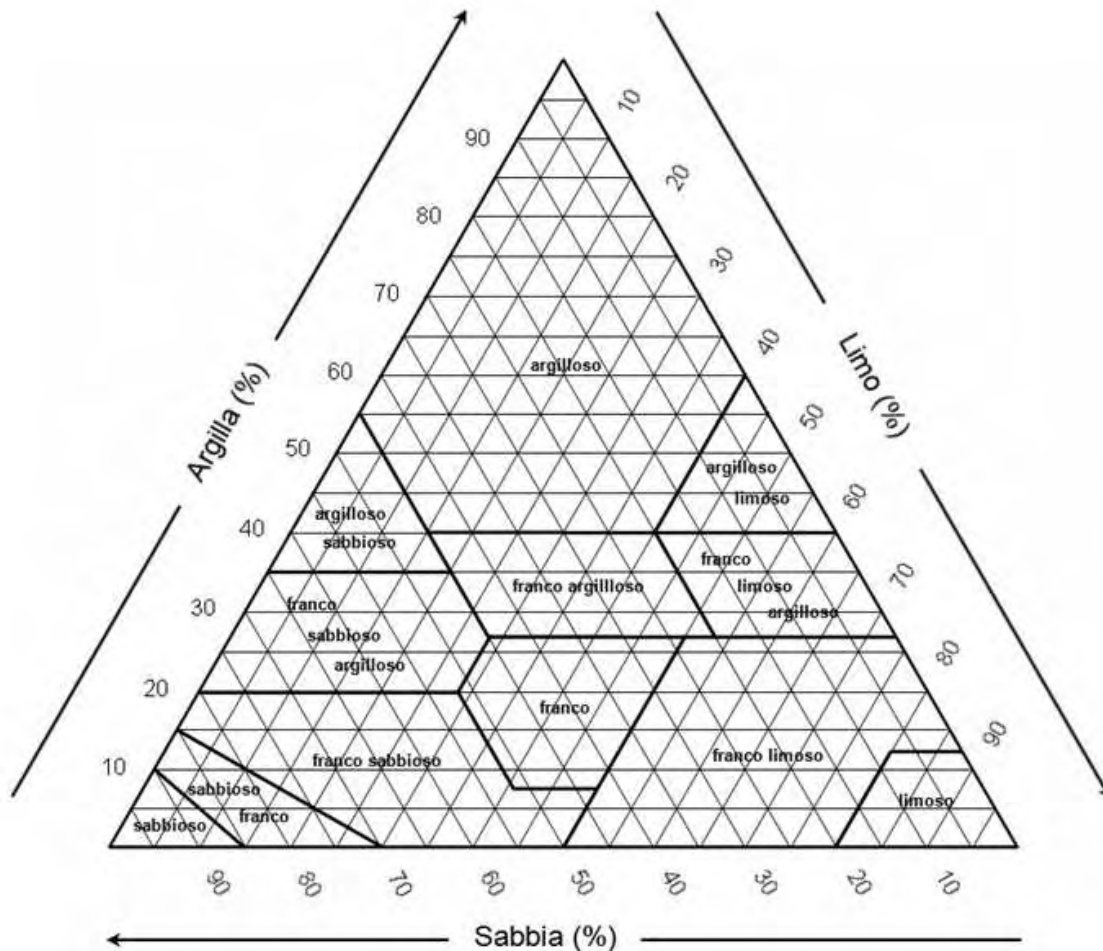


Figura 7 Triangolo tessiturale (classificazione USDA)

Porosità

Espressa come percentuale in volume del terreno, la misura risulta piuttosto difficile e non fornisce mai risultati utilizzabili poiché il volume degli interstizi tra le particelle varia di continuo in rapporto alla struttura del terreno. In un terreno con caratteristiche di medio impasto, ben strutturato, la porosità si aggira intorno al 50% (terreno soffice).

Gli spazi vuoti del terreno non sono mai del tutto vuoti, ma occupati da aria, acqua e microrganismi, oltre alle radici delle piante e alla fauna terricola. Per un buon sviluppo delle piante, l'aria e l'acqua devono essere presenti in proporzioni equilibrate, in modo da consentire sia la respirazione delle radici e dei microrganismi terricoli sia l'assorbimento idrico. La porosità viene distinta, in base alla dimensione dei pori, in microporosità (< 8-10 mm) e in macroporosità (> 10 mm); un buon equilibrio tra macro e microporosità è indispensabile per una adeguata stabile fertilità del terreno. Infatti, in terreni con eccessiva macroporosità (sabbiosi) l'acqua tende a percolare rapidamente attraverso gli ampi spazi presenti, andando quindi perduta per le radici e contemporaneamente dilavando le sostanze nutritive solubili. In terreni con alta microporosità (argillosi) si possono verificare condizioni asfittiche in quanto i piccoli spazi che costituiscono la quasi totalità della porosità possono rimanere per

un lungo tempo imbevuti di acqua, impedendo la circolazione dell'aria e inibendo quindi i processi aerobici del terreno.

I terreni migliori da un punto di vista dell'accrescimento e della produttività delle piante sono quindi quelli nei quali si ha un rapporto adeguato fra microporosità e macroporosità: mentre i pori più piccoli avranno il compito di trattenere l'acqua creando così un ambiente umido indispensabile al movimento delle sostanze nutritive, gli interstizi più grandi serviranno a contenere l'aria indispensabile per lo svolgimento della vita aerobica del terreno (Figura 8).

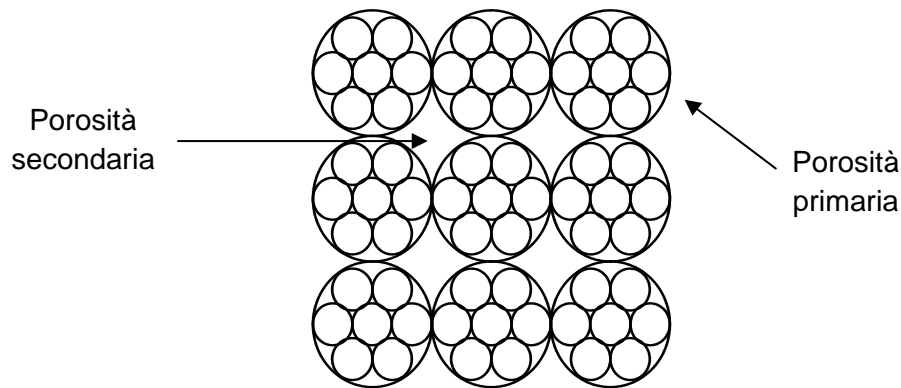


Figura 8 Porosità primaria e secondaria

Componente organica

Il terreno non è soltanto un substrato di sostanze nutritive, ma un complesso nel quale hanno notevole importanza i rapporti che si instaurano fra le componenti minerali, le sostanze organiche, l'acqua e un notevolissimo numero di esseri viventi, dalle strutture e dalle caratteristiche diverse, ma tutti ugualmente importanti nella logica dell'equilibrio ecologico. La componente organica del terreno è costituita da varie frazioni come mostrato in Figura 9.

I terreni sono definiti fertili solo quando contengono sostanza organica, in differente stadio di evoluzione, derivata dalla presenza e dall'azione di questi organismi. La sostanza organica si raggruppa in tre tipi: humus, prodotti di decomposizione e residui organici più o meno inalterati.

Per humus si intende un insieme di sostanze organiche a struttura chimica complessa e non del tutto conosciuta (acidi fulvici, acidi humatomielanici, acidi umici e umine), con un rapporto molto stabile C:N:S:P di circa 100:10:1:2, piuttosto resistenti alla degradazione, di colore scuro, colloidali, a reazione acida, unite alle argille (complesso argillo-umico). Gli agenti principali dell'humus sono batteri, attinomiceti e funghi, ed i substrati principali di partenza sono cellulosa, lignina, emicellulosa. Prodotti intermedi della decomposizione dei residui animali e vegetali sono proteine, aminoacidi, carboidrati di diversa complessità, sostanze aromatiche, grassi, ecc. Queste sostanze possono essere mineralizzate, con la messa a disposizione dei principi nutritivi che contengono, oppure essere utilizzate per la

sintesi dei composti umici. I residui organici indecomposti possono essere di origine animale o vegetale; essi vengono attaccati dai microrganismi e seguono un certo tipo di evoluzione, in funzione sia della loro natura che delle condizioni ambientali nelle quali si trovano.

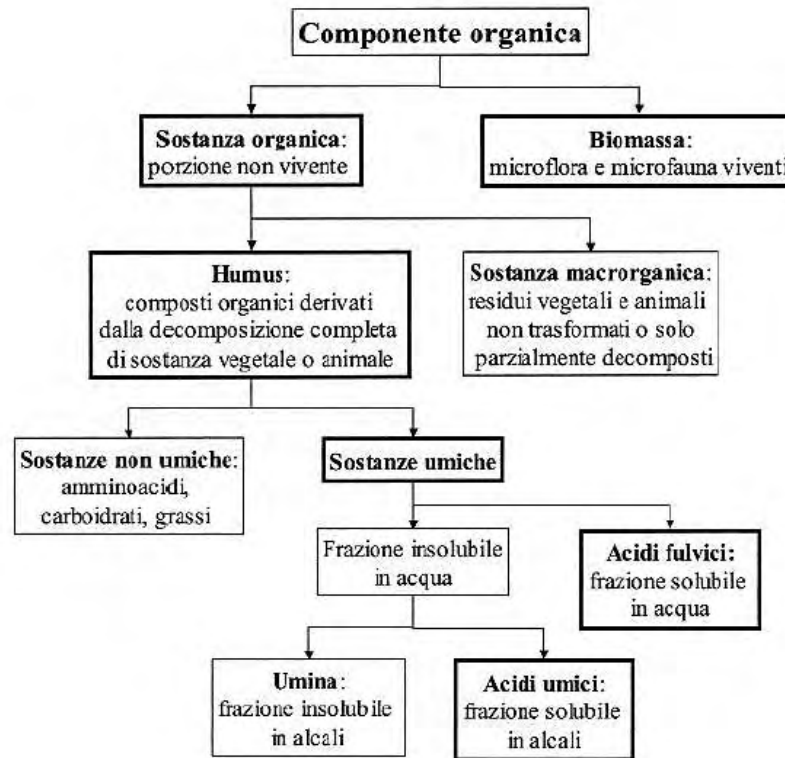


Figura 9 Componente organica del terreno

La sostanza organica, nei terreni agrari, può giungere anche dall'esterno grazie agli apporti operati dall'uomo. Inoltre, vi sono terreni particolarmente ricchi di sostanza organica per ragioni precedenti alla messa a coltura (disboscamenti, terreni torbosi, ecc.).

La sostanza organica svolge un gran numero di funzioni nel terreno. Le proprietà fisiche del suolo sono migliorate dall'abbondante presenza di sostanza organica, la quale favorisce la formazione di aggregati stabili con le particelle minerali del terreno, con conseguente miglioramento della capacità di ritenzione idrica nei terreni sabbiosi, e della porosità in quelli argillosi. Da un punto di vista chimico, la sostanza organica ha la capacità di adsorbire ioni, che potranno poi essere ceduti con gradualità alla soluzione circolante.

La quantità di humus stabile che si accumula e si mineralizza nei terreno alle differenti latitudini e altitudini è molto varia: nei climi freddi la bassa temperatura media lo preserva dalla rapida mineralizzazione e ne favorisce l'accumulo nel terreno; nei climi più caldi la temperatura ne favorisce la mineralizzazione, fino all'estremo dell'erecausi, processo di rapida mineralizzazione tipico degli ambienti caldo-aridi. Questi processi però possono essere modificati anche in modo

sostanziale da altri fenomeni quali il regime pluviometrico, il tipo di sostanza organica predominante, il tipo di terreno, l'azione dell'uomo.

La biomassa è la frazione vivente è costituita da micro/macrorganismi che sono elementi importanti nella definizione delle proprietà del terreno ed in particolare per i processi di biodegradazione.

Di particolare interesse, data la sua capacità di decomposizione di sostanze organiche contaminanti, è la microflora costituita essenzialmente da:

- funghi;
- batteri;
- attinomiceti (organismi con organizzazione intermedia fra i funghi e i batteri).

La sostanza organica non vivente è costituita da una miscela eterogenea di prodotti derivati dalle trasformazioni microbiotiche e chimiche di residui organici. Sebbene essa rappresenti, nella maggior parte dei casi, solo una piccola frazione ponderale della fase solida del terreno, risulta fondamentale per la definizione delle proprietà chimico-fisiche del terreno stesso. I prodotti derivanti dalla trasformazione completa dei detriti organici, per sintesi di microrganismi o modificazione di composti simili, vengono indicati con il termine humus. Queste sostanze hanno una superficie specifica molto elevata, paragonabile a quella delle argille più fini, e sono caratterizzate da una densità specifica di carica elettrica prevalentemente negativa e non trascurabile. Date queste proprietà, i materiali umici hanno la capacità di complessare ioni metallici ed idrossidi sia in forma solubile che insolubile e di interagire, tipicamente per adsorbimento, con un'ampia varietà di composti organici (per esempio gli agrofarmaci), svolgendo pertanto un importante ruolo nell'adsorbimento, e quindi anche nella mobilità, dei contaminanti organici ed inorganici.

La frazione organica rappresenta in genere l'1-3% della fase solida in peso e il 12-15% in volume; ciò significa che essa costituisce una grossa parte delle superfici attive del suolo e, quindi, ha un ruolo fondamentale sia per la nutrizione delle piante che per il mantenimento delle proprietà fisiche del terreno. Il giudizio sul livello di sostanza organica (SO) di un suolo va formulato in funzione della tessitura poiché le situazioni di equilibrio della SO nel terreno dipendono da fattori quali aerazione e presenza di superfici attive nel legame con molecole cariche come sono i colloidali argillosi. Inoltre la SO ha un ruolo molto importante per la strutturazione dei terreni e tale effetto è particolarmente evidente per i terreni a tessitura fine (argillosi). Da non trascurare l'influenza del clima sul tenore di SO con differenze notevoli tra Europa centro-settentrionale (2-7%) e mediterranea (0,2-1,5%) Nella Tabella 1 è riportato un giudizio sul contenuto di SO in funzione della classe granulometrica del terreno (valori della SO espressi in g/kg; si ricorda che 10 g/kg equivalgono all' 1%).

Il contenuto di SO, preso singolarmente, non dà indicazioni sulle quote assimilabili per la coltura in quanto le trasformazioni dell'azoto nel terreno sono condizionate dall'andamento climatico e dall'attività biologica.

Tabella 1

Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	Terreno argillosi e limosi (A-AL.FLA-AS-L)
molto basso	<8	< 10	<12
basso	8-14	10-18	12-22
medio	15-20	19-25	23-30
elevato	>20	>25	>30

L'azoto (N) nel suolo è presente in varie forme: nitrica (più mobile e disponibile), ammoniacale (meno disponibile in quanto adsorbita nel complesso di scambio) e organico (di riserva, costituisce la quasi totalità del terreno e risulta mineralizzabile). Per avere un'idea dell'andamento dei processi di trasformazione della sostanza organica, si utilizza invece il rapporto carbonio/azoto (C/N), seguendo lo schema riportato in Tabella 2:

Tabella 2

C/N	Classificazione	Giudizio	Azoto della SO
<9	basso	scarsa umificazione della sostanza organica e rapida mineralizzazione	liberato
9-11	normale	situazione di equilibrio tra sostanza organica umificata e mineralizzata	stabile
>11	alto	processi di mineralizzazione pressoché nulli	immobilizzato

Per stimare il valore del contenuto di Carbonio Organico dal contenuto in SO è necessario moltiplicare la quantità di SO per 0,58.

Fosforo assimilabile

Il fosforo disponibile per le piante nei terreni naturali trae origine da minerali primari o di neoformazione, rappresentati da fosfati di calcio, fosfati di ferro e fosfato di alluminio.

Nei terreni agrari c'è anche l'apporto, dall'esterno, di quello contenuto nei concimi minerali ed organici. L'apporto di concimi fosfatici, contenenti fosfato monocalcico, comporta una più o meno consistente insolubilizzazione a contatto con il terreno, questo fenomeno riduce l'efficienza e l'efficacia dei fertilizzanti. Anche i fosfati precipitati possono essere parzialmente recuperati e portati in soluzione ad opera dell'acqua, dell'anidride carbonica, dei cambiamenti di pH, delle radici e dei

microrganismi del suolo. Una frazione molto variabile del fosforo presente nel terreno è sotto forma organica in quanto presente nei residui vegetali, nell'humus e nella biomassa microbica.

In Tabella 3 sono riportati i valori di fosforo assimilabile determinato (metodo Olsen) e il corrispondente giudizio agronomico utile per la somministrazione di concimi fosfatici alle colture.

Il limite inferiore rappresenta la soglia al di sotto della quale diventa necessario sostenere le colture con adeguati apporti e in genere le colture, sebbene in modo differenziato, reagiscono molto bene agli apporti. Analogamente, dotazioni molto elevate, rendono superflua ogni somministrazione.

Tabella 3

Valori espressi in P (mg/kg o ppm)	Valori espressi in P ₂ O ₅ (mg/kg o ppm)	Giudizio
<6	<14	molto basso
6-12	14-28	basso
12-20	28-45	medio
20-30	45-70	alto
>30	>70	molto alto

Potassio (K), Calcio (Ca) e Magnesio (Mg) scambiabili

Potassio, Calcio e Magnesio fanno parte del complesso di scambio assieme al sodio e nei suoli acidi all'idrogeno e all'alluminio. L'interpretazione della dotazione di questi elementi va quindi messa in relazione con la CSC e con il contenuto in argilla.

Nella Tabella 4 si riporta un'interpretazione della dotazione di Potassio, espresso come potassio scambiabile in mg/kg, in relazione alla tessitura del suolo.

Tabella 4

Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	Terreno argillosi e limosi (A-AL.FLA-AS-L)
molto basso	<50	<75	<100
basso	50-80	75-100	100-150
medio	80-150	100-250	150-300
elevato	150-250	250-350	300-450
molto elevato	>250	>350	>450

Mentre in Tabella 5 la dotazione delle basi di scambio in relazione alla CSC (valori espressi in % equivalenti sulla CSC).

Tabella 5

Giudizio agronomico					
Base di scambio	molto basso	basso	medio	alto	molto alto
Potassio	<1	1-2	2-4	4-6	>6
Magnesio	<3	3-6	6-12	12-20	>20
Calcio	<35	35-55	55-70	>70	

Per i calcoli:

1 meq/100g di potassio equivale a 391 ppm (mg/kg) di K

1 meq/100g di magnesio equivale a 120 ppm (mg/kg) di Mg

1 meq/100g di calcio equivale a 200 ppm (mg/kg) di Ca

È importante anche considerare i rapporti tra elementi del complesso di scambio. In particolare il rapporto Mg/K (espressi entrambi in meq/100g) dà indicazioni sulla competizione tra i due elementi per l'assorbimento radicale e, quindi, del rischio di carenza che può verificarsi nel caso in cui uno dei due elementi si trovi ad un livello prossimo alla soglia di sufficienza (Tabella 6).

Tabella 6

Rapporto Mg/K	Valutazione	Conseguenze
<2	Squilibrato per eccesso K	Rischio carenza di Mg (*)
2-5	Ottimale	Nutrizione equilibrata
>5	Squilibrato per eccesso Mg	Rischio carenza di K (*)
(*) Solo se il livello dell'elemento è vicino alla soglia di sufficienza		

Dinamica e disponibilità di cationi, anioni e metalli pesanti

La conoscenza, seppure sommaria, delle principali caratteristiche fisiche e chimiche dei suoli permette di prevedere i percorsi possibili e consente anche di comprendere eventuali interazioni di queste con il suolo che, infatti, rappresenta una sorta di grande serbatoio entro cui scorrono fluidi tra cui, il più importante per gli ecosistemi è

l'acqua. Il quadro idrogeologico costituisce, infatti, un parametro importante e deve essere necessariamente noto per una corretta conoscenza e gestione del suolo.

La permeabilità di un suolo è dipendente dal volume di spazi interstiziali comunicanti tra loro (porosità effettiva) ed è espressa dalla quantità di fluido che attraversa il suolo. Un suolo poroso può, quindi, risultare poco permeabile, mentre non è detto che un suolo poco poroso sia impermeabile. Proprio la permeabilità del suolo e la sua capacità di ritenzione idrica permettono di distinguere tre zone importanti:

- INSATURA, in cui l'acqua si muove principalmente per percolamento;
- CAPILLARE, in cui il fenomeno dominante è la capillarità;
- SATURA, cioè il corpo idrologico vero e proprio in cui l'acqua può "scorrere" secondo la conducibilità idraulica che caratterizza lo strato.

La parte sottostante la zona satura è caratterizzata da uno strato impermeabile definito come base della falda.

Nel gruppo di fenomeni che vanno sotto il nome di assorbimento chimico-fisico si ha contemporaneamente adsorbimento e rilascio: qualcosa viene a legarsi al terreno, qualcosa viene rilasciato. Per questa ragione si parla correntemente, a questo proposito, di processi di scambio o più precisamente, per una caratteristica che vedremo, di scambio ionico.

I processi di scambio ionico che avvengono sulla parte solida del terreno possono essere formalmente assimilati a questo tipo di reazione, seppure con alcune differenze fondamentali. La principale differenza consiste nel fatto che nelle reazioni di scambio ionico, esiste sempre almeno una fase solida, qualificata come "scambiatore", sulla quale vanno a fissarsi ioni provenienti da una soluzione o da un altro scambiatore e dalla quale sono rilasciati ioni, della stessa specie o di specie diversa, purché di carica dello stesso tipo (cioè cationi contro cationi oppure anioni contro anioni).

In altre parole, sia lo scambiatore che la sua controparte (soluzione o altro scambiatore) devono rispettare rigorosamente, dopo la reazione, la neutralità elettrica che esisteva prima che la reazione stessa avesse luogo.

L'interazione elettrostatica tra siti presenti nella matrice suolo e ioni facenti parte del terreno è definita la capacità di scambio ionico

In suoli definiti acidi Ca_2^+ , Mg_2^+ , Al_3^+ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ sono dominanti e la loro concentrazione dipende dalle caratteristiche dei siti di scambio e dal valore del pH. In suoli definiti basici o meglio calcarei, i siti di scambio sono principalmente occupati da Ca_2^+ e Mg_2^+ e la presenza di un competitore come Na^+ può compromettere la capacità di scambio ionico di questi suoli. Le acque di scarico di origine civile, che hanno un carico di sostanza organica che le renderebbe adatte per essere utilizzate a scopo di fertirrigazione, spesso presentano una concentrazione di sodio troppo elevata e non possono essere distribuite nei suoli. L'indice che si utilizza per valutare questo parametro è il SAR definito nella seguente formula:

$$[\text{Na}^+]/([\text{Ca}_2^+]/2 + [\text{Mg}_2^+]/2)^{1/2}$$

L'energia di legame, che caratterizza l'interazione tra suolo e ioni, è molto variabile ed è logico aspettarsi una correlazione inversa tra l'aumento dell'energia di legame e la reversibilità dello scambio ionico. Questo fenomeno appare chiaro in presenza di argilla e di sostanza organica. Benché lo scambio cationico rappresenti il processo quantitativamente più importante all'interno di un suolo, è possibile osservare anche fenomeni di scambio anionico. Gli ioni principalmente implicati in tali processi sono: NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . L'adsorbimento è un fenomeno definito come l'adesione di una specie (gas, liquido o soluto) alla superficie solida con cui entra in contatto. È un processo solitamente in competizione con la precipitazione che prevale ad elevate concentrazioni. Si distinguono diversi tipi di adsorbimento:

- adsorbimento fisico;
- adsorbimento chimico;
- inclusione nel reticolo cristallino.

L'adsorbimento fisico è un processo caratterizzato da una interazione di tipo elettrostatico con energia di attivazione molto bassa rispetto a quella che normalmente caratterizza i legami ionici. L'adsorbimento chimico può essere considerato come un caso particolare di precipitazione in cui lo ione adsorbito diventa un costituente della fase solida adsorbente. L'inclusione nel reticolo cristallino è, probabilmente, un fenomeno successivo all'adsorbimento chimico. I principali meccanismi di ritenzione degli ioni metallici al suolo sono:

- associazione alla superficie;
- precipitazione;
- occlusione in altri precipitati;
- diffusione nei minerali che compongono il suolo;
- incorporazione in sistemi biologici e residui biologici.

I fattori che influenzano questi processi sono la concentrazione del metallo in soluzione, il pH e la possibile esistenza di composti organometallici. Spesso l'assorbimento specifico, per cationi metallici, è un processo più importante dello scambio ionico, soprattutto in presenza di minerali argillosi. Oltre ai meccanismi di interazione prima nominati, i metalli sono implicati in importanti processi di complessazione, di chelazione e di trasformazione biologica. I processi di complessazione sono degni di nota in quanto nei suoli esistono due categorie di composti con caratteristiche complessanti. Le molecole di acidi umici o più in generale, sostanze umiche che contengono anelli aromatici sostituiti altamente affini agli ioni metallici e molecole a bassa massa molecolare derivate da residui biologici e da prodotti del metabolismo. Fatta eccezione per alcuni fenomeni biochimici, nei suoli non è possibile ottenere accurate estrapolazioni se non si hanno specifiche conoscenze sulla sua composizione chimica, sul pH in prossimità dei colloidali che lo costituiscono, sulla struttura e sulla chimica delle molecole organiche che lo compongono. Le interazioni tra molecole organiche e ioni metallici sono tra le più diverse e vanno dal legame ionico a quello covalente. La stabilità dei complessi che

si formano è misurata attraverso la costante di formazione del complesso stesso definita:

$$K = \frac{[MA]}{[M] \cdot [A]}$$

dove con M si indica il metallo, con A il legante e $M+A \rightarrow MA$ rappresenta la reazione di formazione. La costante di formazione è influenzata dalla carica e dalle dimensioni dello ione metallico, dall'ingombro sterico, dalla repulsione elettrostatica e da altri fattori chimici e fisici classificabili come fattori ambientali. La chelazione è un particolare processo di complessazione in cui dall'interazione del metallo con l'agente complessante si ottiene la formazione di un anello eterociclico in cui è incluso il metallo (Keeney e Wildung, 1977).

I complessi formati per chelazione sono molto stabili ed in particolare la loro stabilità aumenta all'aumentare del numero di anelli formati e diminuisce all'aumentare delle loro dimensioni.

Pertanto, risulta evidente che si possono distinguere due tipi di scambio ionico, e cioè uno scambio anionico ed uno scambio cationico, di gran lunga più importante e diffuso del primo.

Lo scambio cationico

Il presupposto perché si verifichi la possibilità di scambio cationico è l'esistenza di un solido con cariche negative compensate da cationi trattenuti in superficie, cioè in posizione accessibile, da forze di natura elettrostatica. Il sistema scambiatore-ioni scambiabili, tra cui i principali sono Ca_2^+ , Mg_2^+ , K^+ , Na^+ , Al_3^+ o $Al(OH)_2^+$ e H^+ , può essere considerato come un vero e proprio sale in cui lo scambiatore stesso funge da anione, e la reazione di scambio cationico diventa del tutto analoga ad una reazione di doppio scambio chimico.

L'esistenza di cariche negative nei colloidi e quindi il loro carattere di anioni scambiatori di cationi, può essere dovuta a due meccanismi diversi: sostituzioni isomorfe nei minerali e dissociazione di gruppi, più o meno effettivamente o potenzialmente acidi.

La sostituzione isomorfa nei minerali è importante per lo scambio cationico.

Per quanto riguarda gli equilibri di scambio fra terreno e soluzioni, la velocità con cui si raggiungono è tale che si può parlare in pratica di reazione istantanea.

La distribuzione delle diverse specie ioniche all'equilibrio tra scambiatore e soluzione è governata da alcuni parametri fondamentali, quali concentrazione iniziale sullo scambiatore e nella soluzione, specie ionica considerata, con particolare riguardo a carica ed idratazione dello ione, natura dello scambiatore, presenza di particolari controioni (anioni) in soluzione.

Lo scambio anionico

Invertendo i termini (cariche positive anziché negative sullo scambiatore, anioni al posto di cationi), le considerazioni fatte per i processi di scambio cationico restano valide, in linea di principio, anche per lo scambio anionico. Una tale analogia di comportamento si osserva in effetti per sistemi artificiali come resine scambiatrici.

Molto meno accentuati sono invece per quanto riguarda il terreno, in cui i componenti con carica positiva, scambiatori di anioni, sono limitati per lo più a condizioni di forte acidità e costituiti essenzialmente da ossidi idrati di Fe e di Al.

I metalli pesanti

Ioni con peso atomico elevato (>50) pericolosi perché tendono a bioaccumularsi, per l'incremento nella concentrazione nel tempo in relazione alla concentrazione del prodotto chimico nell'ambiente. I residui si accumulano negli esseri viventi ogni volta che sono assimilati ed immagazzinati più velocemente di quanto sono scomposti (metabolizzati) o espulsi.

Nel suolo, Cadmio (Cd); Cromo (Cr); Nichel (Ni); Piombo (Pb); Rame (Cu); Zinco (Zn) possono alterare la qualità dell'ambiente sia per fattori naturali, quali il substrato pedogenetico, sia per fattori antropici, quali le attività industriali e civili, ma in taluni casi anche per le pratiche agricole.

I metalli originati dal substrato pedogenetico si possono definire inquinanti geochimici, ma i fenomeni di contaminazione del suolo, attribuibili al materiale originario in grado di produrre danni biologici sono, di norma, limitati ad aree ristrette.

I fanghi di depurazione delle acque reflue industriali contengono metalli pesanti di tipo e quantità variabili secondo le lavorazioni e la dimensione delle industrie. Un discorso analogo può essere fatto per i "compost". I metalli pesanti provenienti dalle attività civili si ritrovano, inoltre, nella fase gassosa dei combustibili utilizzati per il riscaldamento, nei fumi provenienti dagli inceneritori o dal traffico veicolare; tali metalli raggiungono il suolo attraverso la deposizione atmosferica, facilitata dalle precipitazioni. Alcune attività tipicamente agricole, come l'uso di prodotti fitosanitari e di concimi minerali, possono costituire una fonte di inquinamento da metalli pesanti.

La concentrazione dei metalli pesanti nel suolo è, quindi, funzione delle caratteristiche dei materiali originari, dell'utilizzo di sostanze contenenti metalli pesanti (quali quelle utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione) e delle emissioni in atmosfera.

In genere, i metalli pesanti si concentrano nei sottoprodotti di alcuni settori industriali ma anche, seppur in misura minore, nei rifiuti urbani e nei reflui civili; per questo, lo smaltimento di questi materiali, per i rischi di tossicità, è regolamentato da apposite normative.

Contenuto in Cadmio (Cd) totale

Il cadmio deriva le sue proprietà tossicologiche dalla sua somiglianza chimica allo zinco, un micronutriente essenziale per le piante, gli animali e gli esseri umani. Il cadmio è biopersistente, una volta assorbito da un organismo, rimane in esso per molti anni prima di venire espulso. Le principali fonti di emissioni sono le attività industriali, quali la raffinazione dello zinco, la galvanoplastica, la produzione di batterie alcaline, plastica, vetro e coloranti. La concentrazione nel suolo è funzione delle caratteristiche dei materiali originari e dell'utilizzo sul suolo di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione (concimi fosfatici, fanghi di depurazione). L'acidificazione del suolo e delle acque aumenta la sua disponibilità nel suolo e favorisce l'ingresso nella catena alimentare attraverso le piante.

Contenuto in Cromo (Cr) totale

La concentrazione di cromo nel suolo in parte è relativa ai processi naturali di degradazione dei substrati geologici, da cui i suoli stessi traggono origine; in parte, è correlata all'impiego di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. In particolare, il contenuto di cromo può essere molto elevato in alcuni sottoprodotti dell'industria conciaria utilizzati per la produzione di concimi organici.

Contenuto in Nichel (Ni) totale

La concentrazione di nichel nel suolo è funzione delle caratteristiche dei materiali originari (riconducibili a naturali processi di degradazione dei substrati geologici) e dell'utilizzo, per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione di sostanze contenenti metalli pesanti. Il livello naturale di nichel in alcune aree è particolarmente elevato, raggiungendo valori di gran lunga superiori a quelli previsti dalla Direttiva 86/278/CEE (da 30 a 75 mg/kg di sostanza secca di un campione rappresentativo dei terreni con pH compreso tra 6 e 7).

Contenuto in Piombo (Pb) totale

La concentrazione di piombo nel suolo per processi naturali di degradazione dei substrati geologici, rappresenta la fonte primaria che, però, viene incrementata dall'attività antropica, prevalentemente per il rilascio in atmosfera durante i processi di fusione dell'acciaio, di combustione dei carburanti fossili e delle benzine, nonché per l'apporto di sostanze per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. Il suolo può essere fortemente contaminato dal piombo a seguito del fall out atmosferico e contribuire in maniera significativa all'esposizione umana tramite gli alimenti.

Contenuto in Rame (Cu) totale

La concentrazione di rame nel suolo è funzione delle caratteristiche dei materiali originari e dell'utilizzo di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione, soprattutto con reflui zootecnici. In particolare, l'elevato contenuto di rame nelle deiezioni zootecniche è dovuto all'utilizzo di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento. Le concentrazioni più elevate di rame sono caratteristiche di molti suoli investiti a viticoltura.

Contenuto in Zinco (Zn) totale

La concentrazione di zinco nel suolo è riconducibile in parte a naturali processi di degradazione dei substrati geologici, da cui i suoli stessi traggono origine, in parte è funzione dell'utilizzo sul suolo di sostanze contenenti metalli pesanti utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. In particolare, l'elevato contenuto di zinco nelle deiezioni zootecniche è dovuto all'utilizzo di integratori e additivi alimentari che contengono questo elemento.

Tabella 7 Valori limite di concentrazione di metalli pesanti nel suolo
(mg/kg di sostanza secca di un campione rappresentativo dei terreni con pH compreso tra 6 e 7, quale è definito nell'allegato II C Direttiva 12 agosto 1986, n. 86/278/Cee)

Parametri	Valori limite
Cadmio	da 1 a 3
Rame	da 50 a 140
Nichel ³	da 30 a 75
Piombo	da 50 a 300
Zinco	da 150 a 300
Mercurio	da 1 a 1,5
Cromo	-

Altre proprietà fondamentali che caratterizzano il suolo sono la temperatura, il pH e lo stato di ossidazione dei metalli nei composti presenti nel suolo, che lo definiscono. Tali caratteristiche spesso incidono su alcune importanti proprietà chimiche tra cui la capacità di scambio, anionica e cationica, l'adsorbimento, la ritenzione dei metalli e la capacità di complessarli.

La temperatura del terreno è molto importante per l'attività biologica, e poiché parte della pianta vive immersa nel suolo è ovvio che questo fattore riveste estremo interesse. Il colore e l'umidità sono fattori importantissimi che condizionano l'assorbimento termico e la cessione di calore da parte del terreno. I terreni scuri assorbono una maggior quantità di radiazione luminosa rispetto a quelli chiari che, al contrario, sono riflettenti. Infatti si definiscono "caldi" i terreni più scuri e "freddi" quelli di colore chiaro.

Condizionamenti analoghi derivano dall'umidità del terreno; terreni molto umidi sono generalmente più freddi ma meno soggetti agli sbalzi termici rispetto a quelli che trattengono poca umidità. Infine, la presenza di vegetazione riduce le oscillazioni giornaliere di temperatura, contenendo i valori estremi.

Reazione o pH

La reazione del terreno può essere misurata sia in acqua (pH attuale) che in KCl (pH potenziale). Conoscere la reazione di un suolo è importante in quanto le diverse specie vegetali prediligono determinati intervalli di pH e la reazione influenza molto la disponibilità dei nutrienti, la vita degli organismi, i processi biogeochimici in generale. È per questo che in condizioni estreme è opportuno utilizzare correttivi in grado di aumentare (es. calce, carbonato di calce) o diminuire (zolfo, gesso) il pH. In genere, per scopi agronomici, si effettua la determinazione del pH in acqua, la cui interpretazione è riportata nella Tabella 8:

Tabella 8

Reazione	pH (H ₂ O)
molto acido	< 5,4
acido	5,4-6
leggermente acido	6,1-6,7
neutro	6,8-7,3
leggermente alcalino	7,4-8,1
alcalino	8,2-8,6
molto alcalino	> 8,6

La misura del pH viene effettuata con una scala che va da 0 a 14, ove il punto centrale, 7, rappresenta la neutralità. Tutti i valori di pH inferiori a 7 individuano i terreni acidi, mentre tutti i valori superiori a 7 individuano terreni alcalini. In pratica, comunque, si è soliti definire una fascia di neutralità con valori di pH compresi fra 6,8 e 7,3. La gran parte delle piante ha le condizioni migliori per vivere e svilupparsi nei terreni con pH neutro. In terreni eccessivamente alcalini (pH >8,6) o in terreni eccessivamente acidi (pH <5,4) le piante non riescono a vegetare e svilupparsi per la tossicità intrinseca del terreno nei confronti delle radici.

Poiché di rado si raggiungono nel terreno i valori limite, l'effetto diretto del pH nei confronti delle radici non è eccessivamente preoccupante. Quello che invece va ricordato è il fatto che il pH incide notevole sull'assorbimento degli elementi nutritivi da parte della pianta. Il fosforo, come abbiamo visto, diventa insolubile se il terreno è molto acido o molto alcalino; alcuni microelementi invece diventano più facilmente assimilabili in ambienti subacidi o acidi. I terreni acidi sono frequenti nelle zone umide o altamente piovose: le abbondanti precipitazioni, infatti, dilavano fortemente i cationi responsabili dell'alcalinità, oppure, se il terreno è molto ricco di sostanza organica, provocano eccessivo accumulo di acidi umici. Al contrario, tipici degli ambienti poco umidi sono i terreni alcalini, ove scarse sono le perdite per dilavamento.

Si definiscono correttivi i materiali che aggiunti al terreno ne migliorano il pH. Ammendamenti sono invece le sostanze che migliorano le caratteristiche fisiche del terreno (struttura e tessitura). Così, se si tratta di correggere un suolo eccessivamente acido esistono sostanze chimiche che ne riducono l'acidità (calcitazioni). Se le condizioni sono veramente gravi, l'impiego di queste sostanze, anche se molto costose, è necessario. Ma per situazioni meno gravi può essere sufficiente ricorrere a concimi fisiologicamente alcalini (scorie Thomas, nitrato di calcio, calciocianamide). Si potrà in tal modo apportare il fertilizzante desiderato e contemporaneamente migliorare la reazione del terreno, ottenendo, con un solo intervento, un migliore risultato sulla fertilità del suolo. Ciò che è stato esemplificato per i terreni acidi può essere messo in pratica anche per i terreni alcalini (gesso) e

salsi. Per gli ammendamenti, invece, nella pratica prevede l'aggiunta di sostanza organica, che migliora le caratteristiche fisiche (ma anche chimiche) sia dei terreni eccessivamente sciolti e sia di quelli troppo compatti.

Calcare totale e calcare attivo

La classificazione del terreno sulla base del contenuto in carbonati totali (calcare totale) e calcare attivo è la seguente (Tabella 9):

Tabella 9

Classificazione terreno (Calcare totale)	Calcare totale (%)	Calcare totale (g/kg)
non calcareo	<1,0	<10
poco calcareo	1-10	105-100
mediamente calcareo	11-25	110-250
calcareo	26-50	260-500
molto calcareo	>50	>500

Dotazione (calcare attivo)	Calcare attivo (%)	Calcare attivo (g/kg)
scarso	<1	<10
medio	1-3,5	10-35
elevato	3,6-10	36-100
molto elevato	>10	>100

Il "calcare attivo" costituisce un indice di attività della frazione solubile del calcare per i fenomeni di insolubilizzazione (ferro e fosforo) che può provocare. I giudizi riportati in tabella si riferiscono alla probabilità che tali fenomeni si verifichino. Valori di calcare attivo al di sopra del 5% sono da considerarsi pericolosi per alcune colture in quanto possono compromettere l'assorbimento del fosforo e del ferro e provocare la comparsa di clorosi.

Il problema della salinità

I fenomeni e i meccanismi che portano alla formazione dei suoli salini sono ben noti, particolarmente per le aree irrigue che soffrono problemi di salinità. La salinità si genera di solito a causa dell'inondazione da parte di acque salse (come avviene ad esempio in Belgio e Olanda) oppure per reiterato uso irriguo di acque ad elevato contenuto di sali solubili di sodio, magnesio e calcio in quantità tali per cui la fertilità è notevolmente ridotta (bacino del Mediterraneo).

Il fenomeno è spesso associato all'irrigazione, poiché l'acqua utilizzata a tale scopo contiene quantità variabili di sali, soprattutto nelle regioni in cui le precipitazioni scarse, l'elevata evapotraspirazione o le caratteristiche della tessitura impediscono l'eliminazione dei sali, che conseguentemente si accumulano negli strati superficiali del suolo. L'irrigazione con acque ad elevato tenore salino aggrava ulteriormente il problema. Infatti, dalla pratica dell'irrigazione se non si riesce a mantenere l'equilibrio necessario fra i sali apportati dall'acqua irrigua e quelli lisciviati, mediante un adeguato drenaggio naturale o artificiale, aumenta il rischio di un accumulo salino tanto maggiore, quanto maggiore è l'entità dei sali nell'acqua e minore è l'entità delle precipitazioni o degli apporti irrigui in eccesso necessari a dilavarli. Nelle zone costiere, la salinizzazione può inoltre essere associata a uno sfruttamento eccessivo delle acque sotterranee, dovuto alla crescente urbanizzazione e all'espansione agricola e industriale, con conseguente abbassamento della falda freatica e ingresso di acqua marina.

Tuttavia, le minacce alla fertilità del terreno derivano non solo dall'accumulo di sali (che abbassano il potenziale osmotico della soluzione circolante e che in alcuni casi possono essere tossici per le piante e possono provocare squilibri nutrizionali), ma anche dalla presenza di ioni sodio non sufficientemente bilanciati da ioni calcio e magnesio (espressi dal valore del SAR), che agiscono negativamente sui colloidi argillosi ed in definitiva sulla struttura, sulla permeabilità e sulla capacità all'aria del terreno.

È quindi ovvio che in terreni strutturali e sabbiosi, quali per esempio dune marine, l'azione della sodicità delle acque non è da temere: questo è uno dei motivi che hanno condotto alla sperimentazione con l'impiego delle acque marine per l'irrigazione di alofite in terreni sabbiosi.

Là dove invece vi è ragione di temere che alti valori di SAR possano condurre ad un deterioramento della struttura, specialmente in terreni a basso contenuto di calcio, si può fare ricorso all'aggiunta di ammendanti, in primo luogo del gesso, sempre che si sia provveduto ad assicurare un efficiente drenaggio che porti via gli ioni indesiderati; in mancanza di questo l'aggiunta di altri sali, quali appunto il gesso o solfato di calcio, non può che peggiorare le condizioni.

Non è peraltro vero che l'aggiunta di gesso di per sé migliori la tolleranza della pianta alla salinità, come viene da molti ritenuto: in realtà, come si è detto sopra, l'apporto di gesso o di altri ammendanti vale solo a proteggere il terreno dall'azione del sodio, peptizzante dei colloidi argillosi.

Oster e Rhoades (1990) hanno elaborato un modello, Watsuit, che permette di pronosticare con ragionevole approssimazione gli effetti di un determinato tipo di acqua sulla sodicità e sulla salinità del terreno e quindi, entro certi limiti, anche sulle piante coltivate (Hamdy, 2003).

In ambiente naturale, invece, questi terreni si originano tipicamente in zone calde e aride, dove i sali solubili generati dalle reazioni di idrolisi delle rocce non vengono mai dilavati e, col passare del tempo, si concentrano nella zona superficiale grazie alla risalita capillare dell'acqua che è particolarmente esasperata dalle condizioni di caldo e aridità.

Questi terreni sono in genere poveri di humus perché scarsi di vegetazione durante l'anno. Le piante che su essi crescono hanno un elevato contenuto di ceneri (fino a ¼ del loro peso secco) costituite prevalentemente da cloruro di sodio.

Questi terreni, detti alomorfi, non mostrano generalmente cambiamenti di struttura lungo il profilo e in essi i processi pedogenetici e di alterazione sono molto rallentati.

Nei paesi nordici, lo spandimento di sale sulle strade nel periodo invernale può indurre la salinizzazione.

Nell'UE, la salinizzazione del suolo interessa una superficie di circa un milione di ettari, soprattutto nei paesi mediterranei, ed è una delle principali cause di degradazione irreversibile (desertificazione).

Dal punto di vista chimico i terreni salini sono definiti come tali sulla base della conducibilità dell'estratto di pasta satura del terreno², che deve essere superiore al limite di 4 decisiemens m⁻¹.

Esiste infatti un sistema diagnostico per stabilire i limiti di salinità e sodicità di un terreno, basato sulla conducibilità e sul contenuto in sodio dell'estratto di pasta satura (Tabella 10) (ESP)³.

Tabella 10 Classificazione dei terreni in funzione della salinità e del contenuto di sodio scambiabile

Terreno	Conducibilità (dS/m)	ESP%
Non salino no sodico	< 4	< 15
Salino	> 4	< 15
Sodico	< 4	> 15
Salino-sodico	> 4	> 15

La scarsa fertilità dei terreni salini è dovuta principalmente a tre fattori:

- tossicità diretta di sodio, cloruro e soprattutto boro, molto abbondante nelle acque saline;
- alla creazione di squilibri ionici nelle piante a causa dell'effetto antagonista degli ioni sodio sull'assorbimento di potassio e magnesio;

² La pasta satura si ottiene impastando il terreno con la quantità minima di acqua necessaria a formare una "pasta" di densità tale che la lama di un coltello strisciata in essa lasci un solco aperto. Centrifugando la pasta satura si ha una separazione delle particelle solide e di una frazione liquida che costituisce appunto l'estratto di pasta satura.

³ *E.S.P. Exchangeable Sodium Percentage* = $[Na^+ \text{ scambiabile}] / C.S.C. \times 100$

- alla difficoltà che le piante che in essi crescono hanno dell'approvvigionamento idrico a causa dell'elevato potenziale osmotico dell'acqua salata crea una "aridità fisiologica".

Le piante mostrano varia resistenza alla salinità in funzione dell'effetto di questi tre fattori, in funzione anche del clima. Un gruppo particolare di piante dette alofite (dotate di adattamenti morfologici o fisiologici che ne permettono l'insediamento su terreni salini o alcalini) richiedono, peraltro, la presenza di elevate concentrazioni di cloruro di sodio per il loro sviluppo.

A questo proposito, sono stati effettuati recentemente studi sull'utilizzo agricolo - alimentare di varie piante alofite, idonee ad essere coltivate su terreni salini (Radaelli e Calamai, 2001) (Tabella 11).

Tabella 11 Sensibilità di alcune piante coltivate alla salinità

Coltura	Tolleranza	Conducibilità dell'estratto di pasta satura per cui è ridotta del 50% (dS/m)	
		Germinazione	produzione
Orzo	Tollerante	16-24	18
Cotone	Tollerante	15	17
Barbabietola	Tollerante	6-12	15
Sorgo	Mediamente tollerante	13	15
Frumento	Mediamente tollerante	14-16	13
Erba medica	Mediamente sensibile	8-13	8,9
Pomodoro	Mediamente sensibile	7	7,6
Mais	Mediamente sensibile	21-24	5,9
Lattuga	Mediamente sensibile	11	5,2
Riso	Sensibile	18	3,6
Fagiolo	Sensibile	8	3,6

La Conducibilità Elettrica (CE) è una misura che risulta strettamente correlata al livello di salinità del terreno e si determina effettuando estratti acquosi secondo rapporti predefiniti tra terra fine e acqua (es. 1:2 o 1:5) o saturando completamente il suolo con acqua (estratto a saturazione).

È evidente che l'interpretazione va riferita al metodo utilizzato. Ad es., utilizzando il rapporto suolo:acqua=1:5, valori inferiori ai 300µS/cm in genere non destano preoccupazioni, mentre sono sicuramente problematici valori superiori ai 600-700 µS/cm, che dovranno indurre ad ulteriori indagini ad esempio eseguendo la

determinazione sull'estratto a saturazione (o pasta satura), che da indicazioni più precise e interpretabili sullo stato di salinità del suolo verificando, contestualmente, anche la qualità dell'acqua irrigua.

Valori di CE espressi sull'estratto a saturazione inferiori a 2000-2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, in genere non creano problemi alle colture, sebbene esiste una marcata differenza nel tollerare la salinità tra le diverse specie vegetali, mentre con valori superiori ai 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ si hanno perdite di produzione o sintomi già evidenti in molte specie.

L'acqua

G. Barbieri *

*Dipartimento di Ingegneria agraria e Agronomia del territorio – Università degli Studi di Napoli Federico II Via Università, 100 – 80055, Portici (NA) Italy * barbieri@cds.unina.it*

L'acqua nell'atmosfera

L'Umidità dell'aria è costituita da acqua allo stato di vapore presente nella miscela gassosa che costituisce l'aria stessa. Si esprime come umidità assoluta (X in g/cm^3 o kg/m^3), umidità relativa (%) e pressione di vapor d'acqua (e in kPa); molto spesso si calcolano anche i valori di deficit di saturazione (*vapour pressure deficit* o *VPD*, in hPa) e la temperatura del punto di rugiada in ($^{\circ}\text{C}$).

L'umidità assoluta è la massa di vapore per unità di volume (g di H_2O per m^3 di aria); ad essa corrisponde una determinata pressione di vapore; poco utile, in quanto a seconda della temperatura, la stessa quantità di H_2O ha effetti diversi.

L'Umidità relativa (espressa in % del massimo contenuto in vapore acqueo dell'aria, oltre al quale si ha condensazione) è più correlata ai fenomeni biologici ed è il rapporto, a una data temperatura, fra il contenuto reale in vapor d'acqua dell'aria (espresso come pressione reale del vapore, e) e quello che ci sarebbe se questa fosse satura (pressione di saturazione, e_s)

$$\text{UR}\% = \frac{e_{\text{air}}}{e_s} \times 100$$

Questa definizione dipende dal fatto che un volume d'aria a una data temperatura può contenere un valore massimo di vapore acqueo, oltre il quale si verifica la condensazione. Il valore di e_s aumenta in modo esponenziale con la temperatura (per un aumento di 10°C si ha un valore quasi doppi o di e); una formula empirica per calcolare e_s in funzione di T ($^{\circ}\text{C}$) è la seguente:

$$e_s = 0.6108 \exp \frac{17.27T}{T + 237.3}$$

Il *VPD* è la differenza fra la pressione di saturazione (e) e la pressione reale del vapore (e) ed è la *driving force* per i processi di evaporazione.

$$\text{VPD} = e_s - e_{\text{air}}$$

$$e_{\text{air}} = e_s * \text{UR (umidità relativa)}$$

$$\text{VPD} = e_s - (e_s * \text{UR}/100)$$

In un dato ambiente (ad esempio, in serra):

- a parità di temperatura dell'aria, un aumento dell'umidità assoluta (ad esempio, in seguito a un intervento di irrigazione-nebulizzazione)

determina un aumento di e_{air} e UR , e quindi una diminuzione di VPD ;

- a parità di X (senza incrementi del contenuto di vapor d'acqua), un aumento di temperatura dell'aria ha un effetto trascurabile su e_{air} , ma determina un aumento di e_s , e quindi UR diminuisce e VPD aumenta.

L'umidità relativa, che rappresenta il parametro più comunemente misurato e usato, varia durante il giorno con un massimo in corrispondenza della temperatura minima e un minimo in corrispondenza di quella massima. Durante l'anno, i valori più elevati si registrano nei mesi invernali. I valori indicati nei riepiloghi giornalieri sono il valore massimo, minimo e medio percentuale. I valori impiegati nei riepiloghi mensili sono la media delle massime, la media delle minime, la media delle medie.

Per la misura dell'umidità dell'aria vengono utilizzati gli igrometri o gli psicrometri.

Lo psicrometro è lo strumento migliore per misurare il tenore igrometrico dell'aria. È costituito da due termometri, uno dei quali misura la temperatura dell'aria (T_a), mentre l'altro, con il bulbo costantemente umido, registra una temperatura T_{bu} uguale o inferiore a T_a , in funzione del grado igrometrico. Nell'aria satura $T_{bu} = T_a$, mentre se diminuisce UR , aumenta l'evaporazione, il bulbo umido si raffredda e la differenza ($T_a - T_{bu}$) aumenta.

Quindi, conoscendo ($T_a - T_{bu}$) si può risalire a UR :

$$e = e_s^{T_{bu}} - \gamma (T_a - T_{bu})$$

con $e_s^{T_{bu}}$ uguale alla pressione di vapore dell'aria satura a T_{bu} , $e/e_s^{T_a} = UR$, γ la costante psicrometrica .

La differenza ($T_a - T_{bu}$) indica il raffreddamento (teorico) di un impianto "cooling-system" (ventilazione della serra con aria esterna umidificata in ingresso); in pratica, il raffreddamento si aggira intorno al 70-85% di ($T_a - T_{bu}$). In condizioni di traspirazione stazionaria la temperatura fogliare è approssimativamente uguale a T_{bu} .

Precipitazioni

Le precipitazioni possono essere classificate in relazione allo stato fisico dell'acqua e alle dimensioni delle singole particelle in: rugiada, brina, pioviggine, pioggia, neve, nevischio, grandine e nebbia.

Le unità di misura utilizzate sono i millimetri d'acqua, per la pioggia, e i centimetri o millimetri equivalenti d'acqua per la neve. Il millimetro di pioggia si riferisce all'altezza raggiunta dall'acqua piovana caduta sulla superficie di un metro quadrato su un suolo pianeggiante, senza che avvengano perdite dovute all'evaporazione o allo scorrimento orizzontale lungo la superficie. Tenuto conto che un litro d'acqua occupa un volume pari a un decimetro cubo, ne consegue in modo immediato che ogni millimetro di pioggia equivale a un litro d'acqua caduta su un metro quadrato di

terreno.

Oltre al valore cumulato di pioggia, per ogni singolo evento, si può anche misurare l'intensità, che viene espressa in mm/h. Nei riepiloghi giornalieri si riporta il solo valore totale, mentre nei riepiloghi mensili, oltre al valore totale, si riporta anche il numero di giorni nei quali si è verificata la pioggia.

I valori di precipitazione vengono utilizzati per molteplici scopi, tra i quali si annoverano: la stima delle risorse idriche (acqua potabile, per usi civili e industriali); il calcolo delle portate dei fiumi, per la stima del rischio alluvionale; la stima delle risorse idroelettriche; calcoli d'ingegneria civile, per il dimensionamento di fogne, docce, canali, drenaggi, strade, fondazioni ecc., la valutazione dello stato delle falde idriche e della loro alimentazione; la programmazione dell'irrigazione, per il calcolo relativo alla costruzione di invasi per l'agricoltura; la stima del rendimento delle colture in combinazione con radiazione solare e temperatura; il calcolo dei premi assicurativi in agricoltura (ricorrenza della grandine, brinate); i calcoli per la conversione in energia meccanica (mulini, segherie ecc.); la stima della visibilità stradale e delle rotte navali (frequenza e intensità della nebbia); la stima della concentrazione di inquinanti nei corsi d'acqua e nelle falde. Le precipitazioni sono misurate tramite pluviometri e radar meteorologici.

Evaporazione, traspirazione ed evapotraspirazione

L'evaporazione (*Ev*) consiste nel passaggio dell'acqua dallo stato liquido allo stato di vapore. In natura l'entità di tale fenomeno dipende dalle condizioni fisiche dell'ambiente (radiazione, temperatura, umidità, vento) e dalla disponibilità d'acqua, che può essere a "pelo libero" (mari, laghi, fiumi ecc.) o trattenuta in mezzo poroso (terreno e superfici varie). La traspirazione (*Tr*) consiste nel passaggio dell'acqua contenuta negli organismi (piante e animali) dallo stato liquido allo stato di vapore. Tale processo è regolato sia dalle condizioni dell'atmosfera sia da una serie di meccanismi biologici (apertura-chiusura di stomi, pori cutanei ecc.) che tendono a mantenere gli organismi nelle condizioni migliori.

L'evapotraspirazione (*ET* o *ETE*) è l'effetto cumulato dell'evaporazione dalla superficie bagnata, di terreno e foglie, e della traspirazione d'acqua dalle piante presenti su tale terreno. Quando ci si riferisce a una superficie coperta da una coltura o in genere da vegetazione sarebbe estremamente difficile distinguere le due componenti e il fenomeno viene considerato nel suo insieme.

L'*ET* (L/m^2 o mm) si misura su base oraria o giornaliera ed è funzione della quantità d'energia che arriva alla superficie (radiazione solare), delle condizioni dell'atmosfera (temperatura, umidità dell'aria, vento) e della disponibilità d'acqua.

Per la misura dell'evaporazione si usano l'evaporimetro o vasca evaporimetrica, mentre l'evapotraspirazione reale viene misurata con il lisimetro. L'*ETE*, data la laboriosità e il costo dello strumento richiesto per la sua misura, è spesso calcolata a partire dall'*ETP* (evapotraspirazione potenziale).

L'acqua nel terreno

Umidità del terreno

Corrisponde al contenuto in acqua del terreno. Si esprime come percentuale di acqua contenuta in un'unità di massa o di volume del terreno (%) o in forma di potenziale idrico, che rappresenta la forza con la quale il terreno trattiene l'acqua, cioè, il lavoro che occorre fare per allontanare l'acqua dal terreno. In relazione al rapporto con le piante, le soglie critiche d'umidità sono: umidità di saturazione, capacità di campo (*CC*), punto di appassimento (*PA*).

La capacità di campo esprime il contenuto di umidità nel suolo corrispondente al limite superiore dell'acqua disponibile o limite superiore di drenaggio. Corrisponde approssimativamente a un potenziale matriciale di -30 kPa (-0,3 bar) nella maggioranza dei suoli e a -10 kPa (-0,1 bar) in suoli sabbiosi.

Il punto di appassimento è il contenuto di umidità a un potenziale matriciale di -1,5 kPa (-15 bar). Corrisponde approssimativamente al limite inferiore dell'acqua disponibile. Questo valore è espresso in peso, come grammi di acqua/grammi di suolo.

La differenza tra *CC* e *PA* rappresenta l'acqua disponibile (*AD*). Questo valore è espresso come grammi di acqua/grammi di suolo, o come millimetri di acqua/metro di suolo.

L'umidità del terreno varia in funzione della morfologia e della natura del terreno, che hanno effetti sui processi d'infiltrazione, di percolazione profonda e di ruscellamento superficiale. Durante l'anno le variazioni di umidità dipendono dalle precipitazioni, dalle perdite per evaporazione e traspirazione delle piante.

L'umidità del terreno può essere misurata con metodi diversi, tra cui:

1. metodo gravimetrico (differenza tra il peso fresco e il peso secco di un campione di terreno);
2. metodo tensiometrico (tensiometro);
3. metodo elettromagnetico;
4. metodo basato sulla resistenza elettrica (blocchetti di gesso o altri materiali igroscopici);
5. metodo neutronico (sonda a neutroni).

L'acqua nella pianta

L'acqua gioca un ruolo cruciale nella vita di qualsiasi pianta. Per ciascun grammo di sostanza organica prodotta da una pianta, approssimativamente 500 g di acqua sono assorbiti dalle radici e traspirati. L'acqua tipicamente costituisce l'80-95% del tessuto vegetale. Il legno ne contiene meno (35-75%), i semi, che sono fra i tessuti vegetali più poveri d'acqua, ne contengono fra il 5 e il 15%, ma comunque, per poter germinare, hanno bisogno di assorbirne quantità considerevoli. Di tutte le risorse di cui le piante hanno bisogno per crescere e funzionare, l'acqua è la più abbondante e allo stesso tempo è la più limitante per la produzione agricola.

Il confronto con l'atmosfera rappresenta una formidabile sfida per le piante. Da una parte, l'atmosfera è la sorgente di anidride carbonica, necessaria per il processo della fotosintesi, dall'altra l'atmosfera è relativamente secca rispetto ai tessuti vegetali e può facilmente deidratare e disseccare le piante. Per rendere efficace la limitazione nella perdita di acqua pur massimizzando l'assorbimento di anidride carbonica (CO₂) le piante hanno sviluppato adattamenti tali da poter riuscire a controllare la perdita di acqua dalle foglie, e sostituire contemporaneamente quella perduta nell'atmosfera.

Il problema è aggravato dall'ampia superficie delle foglie, necessaria per massimizzare l'intercettazione della radiazione solare e per avere una continua possibilità di assorbimento di anidride carbonica. Esiste perciò un conflitto fra il bisogno di conservazione dell'acqua e il bisogno di assimilazione di CO₂.

Per risolvere questo conflitto vitale, le piante terrestri si sono strutturate nel modo seguente:

- un sistema radicale estremamente ramificato ed esteso per estrarre acqua dal suolo;
- un percorso fra apparato radicale e foglie all'interno di un tessuto conduttore denominato xilema, caratterizzato da una scarsa resistenza;
- una cuticola idrofoba che riveste la superficie delle foglie per ridurre l'evaporazione;
- microscopiche aperture nella foglia per permettere gli scambi gassosi con l'esterno (soprattutto CO₂, O₂, H₂O);
- cellule altamente specializzate (cellule di guardia) aventi lo scopo di regolare il diametro dell'apertura stomatica.

Il risultato di questo adattamento morfo-fisiologico è un organismo che trasporta acqua dal suolo verso l'atmosfera solamente in risposta a forze di tipo fisico. Nessun tipo di energia viene direttamente spesa dalla pianta per trasportare acqua, sebbene lo sviluppo e il mantenimento delle strutture sopra elencate richiedano un certo consumo energetico.

Funzioni dell'acqua nella pianta

L'acqua ha tre funzioni principali nella pianta:

1. *Raffreddamento.* È la funzione fondamentale del volume di acqua perduto per traspirazione dalla pianta, soprattutto durante i periodi caldi: circa il 99% dell'acqua traspirata svolge tale funzione. È noto come la superficie dalla quale l'acqua evapora tenda a raffreddarsi. In questo modo, la pianta tende a raffreddare i propri tessuti.
2. *Trasporto dei nutrienti.* Dato che l'acqua muove dal suolo verso i tessuti vegetali attraverso le radici e i tessuti di conduzione, anche i nutrienti disciolti nella soluzione circolante del suolo vengono trasportati con il flusso di acqua.
3. *Idratazione.* Una piccola porzione dell'acqua traspirata rimane nei tessuti

(meno dell'1%). Il dato potrebbe risultare sorprendente se pensiamo al fatto che il 90% dei tessuti vegetali è composto da acqua, ma rende l'idea di quanta acqua viene utilizzata per altri scopi.

Il continuum suolo-pianta-atmosfera

La pianta può essere considerata un sistema idraulico continuo, che mette in connessione l'acqua presente nel suolo con il vapore acqueo contenuto nell'atmosfera. In ogni punto del sistema, lo stato idrico può essere descritto attraverso la misura termodinamica del "potenziale idrico" (Ψ_w), che esprime lo stato energetico dell'acqua. Convenzionalmente, Ψ_w dell'acqua pura a 25°C e 0,1 MPa di pressione atmosferica è pari a zero. Il Ψ_w nei tessuti vegetali può essere differenziato in due componenti principali: potenziale di turgore (Ψ_p) e potenziale osmotico (Ψ_o).

Ψ_p rappresenta la componente di pressione del potenziale idrico cellulare ed è il risultato della pressione idrostatica nelle cellule. Normalmente assume valori positivi e l'intensità di Ψ_p dipende dall'elasticità della parete cellulare (ϵ). Il Ψ_o , invece, è basato sulla concentrazione dei soluti nell'acqua. L'acqua intracellulare contiene elevate quantità di soluti, che possono far arrivare il potenziale osmotico fino a valori estremi di -5 MPa (due volte circa quello dell'acqua di mare). I componenti del potenziale idrico si legano fra loro mediante la seguente relazione:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_o$$

Anche lo stato dell'acqua presente nel suolo può venire descritto attraverso il concetto di "potenziale matriciale" (Ψ_s). Ad esempio, l'ambiente radicale in una coltura fuori suolo ha un Ψ_s pari al potenziale osmotico della soluzione nutritiva, con un range tipico da -0,03 a -0,3 MPa (soluzione nutritiva con EC pari a 1 oppure 8 dS/m). Passando a una coltivazione in substrato, il Ψ_s tende a divenire sempre più negativo.

Analogamente ai circuiti elettrici, il flusso idrico nella pianta può venire descritto attraverso una rete di potenziali, di resistenze e di capacitance (Figura 10). Il movimento dell'acqua nella pianta è governato da regole analoghe a quelle per il flusso di elettricità, come descritto dalla legge di Ohm. Il gradiente di potenziale nel *continuum* suolo-pianta-atmosfera è la forza che guida il trasporto attraverso la pianta: il flusso idrico partirà da un punto del sistema ad alto (meno negativo) potenziale idrico a un altro punto a basso (più negativo) potenziale idrico. Normalmente il flusso seguirà la direzione dal suolo ($\Psi_s = -0,01 \div -0,15$ MPa) verso l'atmosfera ($\Psi = -50 \div -100$ MPa) passando attraverso la pianta.

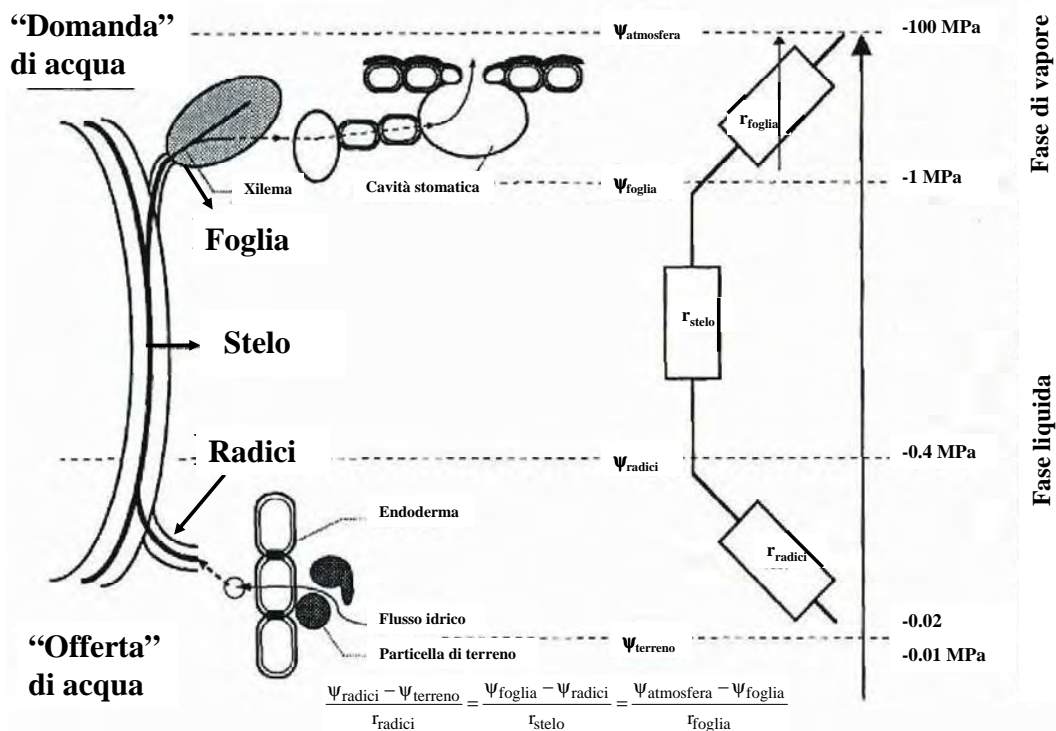


Figura 10 Descrizione del *continuum* suolo-pianta-atmosfera attraverso l’analogia con un circuito elettrico

L’evapotraspirazione

Il termine evapotraspirazione (*ET*) combina l’*evaporazione* dal suolo con la *traspirazione* dalle piante così da descrivere la perdita di acqua totale di una coltura.

L’acqua evapora da una superficie umida verso l’atmosfera finché quest’ultima non diviene satura. Il processo di evaporazione è tanto più rapido quanto maggiore è la differenza fra la pressione di vapore della superficie evaporante e quella dell’atmosfera (*deficit di pressione di vapore*, o *VPD*). L’evaporazione dalle piante, tuttavia, assume un nome specifico, *traspirazione*, e avviene attraverso gli stomi.

Si distinguono due tipi di evapotraspirazione:

- evapotraspirazione potenziale o di riferimento (*ETP* o *ET₀*), cioè la perdita di acqua calcolata attraverso equazioni e modelli matematici oppure misurata da una coltura di riferimento (normalmente *Festuca arundinacea*);
- evapotraspirazione effettiva (*ETE*), cioè la reale perdita di acqua dalla coltura in oggetto, in genere inferiore al valore precedente.

La relazione fra i due tipi di evapotraspirazione è la seguente:

$$ETE = ET_0 Kc$$

dove il termine *Kc* (coefficiente colturale) riflette le differenze nella specie, nella copertura vegetale e nello stadio di sviluppo.

L’*ET* viene generalmente espressa in millimetri per unità di tempo: considera quindi la perdita di acqua come unità di altezza. L’*ET* può tuttavia venire espressa anche in

relazione al volume evaporato per unità di superficie per unità di tempo (ad esempio, m³/ha giorno), oppure per unità di energia necessaria per far evaporare l'acqua ricevuta per unità di superficie (ad esempio, MJ/m² giorno). Questa energia è chiamata *calore latente di vaporizzazione* (λ , circa 2,5 MJ/kg di acqua). I fattori di conversione fra le diverse unità di misura sono riportati in Tabella 12.

Tabella 12 Fattori di conversione fra le unità di misura correntemente utilizzate per l'evapotraspirazione (ET)

	mm/g	m ³ /ha	MJ/m ²
mm/g	1	10	2,45
m ³ /ha	0,1	1	0,245
MJ/m ²	0,408	4,082	1

Influenza del clima su ET

Diversi elementi climatici influenzano l'ET.

- *Temperatura dell'aria*. Viene classificata come temperatura del bulbo secco o ambientale (T_a), del bulbo umido (T_w) e di rugiada (T_p). L'unità di misura è il grado Celsius (°C). T_a è quella comunemente riportata, e viene misurata attraverso il termometro. T_w è la temperatura alla quale un oggetto può venire raffreddato attraverso l'evaporazione dell'acqua dalla sua superficie; è il parametro fondamentale per il *cooling system* impiegato per raffreddare l'atmosfera all'interno delle serre. La contemporanea lettura dei due termometri, secco e bagnato, determina univocamente l'umidità. T_p , invece, è la temperatura alla quale un campione di aria deve essere raffreddato per divenire saturo di umidità al contatto con una superficie. Alla saturazione, la temperatura del bulbo secco, del bulbo umido e il punto di rugiada sono uguali; altrimenti la temperatura del punto di rugiada è minore della temperatura del bulbo umido che a sua volta è minore della temperatura del bulbo secco.
- *Radiazione solare netta* (R_n). È il livello netto di radiazione solare alla superficie della coltura. Viene misurata attraverso sensori chiamati piranometri. Le unità di misura utilizzate sono unità di energia, generalmente calorie (cal), joule (J) o watt (1W = 1J/sec). Livelli istantanei di radiazione su una superficie vengono misurati come flusso di energia per unità di superficie (W/m²). Normalmente, per il calcolo dell'ET si utilizzano livelli cumulati di radiazione come cal/cm² giorno oppure MJ/m² giorno.
- *Pressione di vapore*. L'aria contiene vapore acqueo, e questo può renderla più o meno satura. L'ammontare di vapore acqueo che può essere trattenuto dall'aria è temperatura-dipendente: all'aumentare della temperatura, aumenta anche la quantità massima di vapore acqueo. Per la stima dell'evapotraspirazione è più importante un altro parametro: la pressione di

vapore (e), che rappresenta la pressione esercitata dal vapore acqueo su una superficie. Esistono due pressioni di vapore: la pressione di vapore reale (e) e la pressione di vapore a saturazione o massima (e_s). La differenza ($e - e_s$) è il deficit di pressione di vapore (VPD), mentre il loro rapporto (e/e_s) è l'umidità relativa.

- **VPD.** È un fattore ambientale molto importante perché regola il funzionamento stomatico nelle piante. L'aumento di VPD , legato all'aumento di temperatura dell'aria e alla radiazione solare, provoca un aumento nella traspirazione fogliare, con conseguente abbassamento del potenziale idrico fogliare e chiusura stomatica. La misura del VPD diviene perciò essenziale per la stima dell'evapotraspirazione, anche perché il valore di VPD entra in numerose equazioni per il calcolo dell' ET .
- **Vento.** Il vento ha due ruoli ben definiti nell'evapotraspirazione: può trasportare calore che provoca l'innalzamento della temperatura in una vegetazione; accelera l' ET mediante l'incremento della turbolenza a livello della superficie fogliare, con trasferimento del vapore acqueo dalla vegetazione all'atmosfera. Così facendo, provoca l'aumento del VPD fra superficie fogliare e microatmosfera fogliare.

La stima di ET_0

L'evapotraspirazione può essere misurata attraverso metodi diretti oppure calcolata mediante metodi indiretti.

Metodo diretto o della vasca evaporimetrica

Il metodo evaporimetrico consiste nel calcolare il valore di ET_0 per mezzo della evaporazione osservata da un evaporimetro di classe A del US Weather Bureau:

$$ET_0 = k_e E$$

dove E è il tasso di evaporazione (espressa in mm/giorno) osservato all'evaporimetro; k_e è un coefficiente il cui valore dipende dalla umidità relativa media, dalla velocità del vento e dal tipo di copertura vegetale circostante. Il Quaderno 24 della FAO (1977) fornisce i valori da attribuire al coefficiente k_e a seconda della copertura vegetale (evaporimetro su prato o evaporimetro su terreno nudo), della distanza sottovento da copertura vegetale (in m) ovvero del terreno spoglio (sopravvento rispetto alla zona di riferimento), dell'umidità relativa calcolata come media del valore massimo e minimo, e della velocità del vento calcolata come vento sfilato nelle 24 ore (km/giorno).

Metodi indiretti

Tra i metodi indiretti esistono numerose equazioni matematiche, più o meno complesse, che mettono in relazione l' ET con parametri climatici e/o fisiologici.

Tra le equazioni più utilizzate troviamo:

a) equazione della radiazione solare:

$$ET_0 = a + b (W R_s)$$

dove a e b sono fattori di correzione per l'umidità e il vento, W un fattore di altitudine e temperatura media, R_S la radiazione solare media giornaliera (in mm/giorno).

Esistono altre equazioni di tipo radiativo, empiriche, che determinano immediatamente l' ETE . Ad esempio, una delle più utilizzate è la seguente:

$$ETE = K R_G / \lambda$$

dove ETE è l'evapotraspirazione effettiva (in L/m^2), K il coefficiente colturale, R_G la radiazione globale interna alla serra (MJ/m^2) e λ il calore latente di vaporizzazione.

b) equazione di Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

dove:

ET_0 = evapotraspirazione potenziale (mm/giorno)

R_n = radiazione netta alla superficie della vegetazione ($MJ/m^2 \cdot$ giorno)

G = densità di flusso di calore del suolo ($MJ/m \cdot$ giorno)

T = temperatura media giornaliera dell'aria a 2 m di altezza dal suolo ($^{\circ}C$)

U_2 = velocità del vento a 2 m di altezza dal suolo (m/sec)

e_s = pressione di vapore massima (kPa)

e = pressione di vapore reale (kPa)

$e - e_s$ = deficit di pressione di vapore (VPD, kPa)

Δ = pendenza della curva di pressione di vapore (kPa/ $^{\circ}C$)

γ = costante psicrometrica (kPa/ $^{\circ}C$).

Il metodo di Penman-Monteith è considerato il metodo più preciso fra quelli matematici per il calcolo dell' ET_0 . Data la difficoltà di misurazione di alcuni parametri, però, viene raramente utilizzato a livello aziendale, preferendo a esso altri metodi illustrati in precedenza, più immediati e intuitivi.

Gli stress idrici e salini

Generalmente, con il termine stress si indica una sostanziale deviazione dalle condizioni ottimali di vita, con conseguenti cambiamenti e risposte morfofisiologiche a ogni livello della pianta (Figura 11). Tali risposte possono essere reversibili o irreversibili.

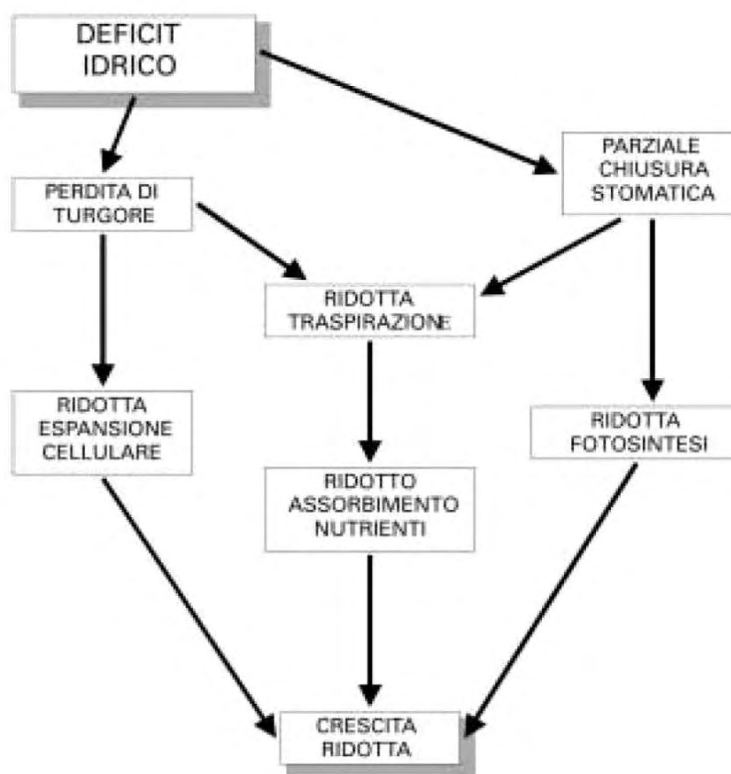


Figura 11 Effetto del deficit idrico sui processi metabolici della pianta con riduzione finale della crescita

Stress idrico

Lo stress idrico insorge nel momento in cui la richiesta di acqua da parte della pianta supera la sua reale disponibilità, data dall'ammontare di acqua presente nel suolo esplorato dalle radici. Le piante assorbono l'acqua dagli strati superficiali del suolo, dove è presente gran parte dell'apparato radicale. Data la sua importanza, l'apparato radicale deve avere adeguate densità, distribuzione e condizione sanitaria per permettere un efficiente assorbimento. Il lavoro necessario per rimuovere l'acqua dal suolo (o la forza con la quale l'acqua è trattenuta dalle particelle di suolo) prende il nome di potenziale idrico matriciale (Ψ). Quando l'umidità del suolo è bassa, le piante necessitano di una maggiore energia per assorbire acqua, così il Ψ aumenta. Quando il suolo è asciutto e il Ψ è di conseguenza molto elevato, la pianta non riesce più ad assorbire acqua e comincia a manifestare sintomi di stress. Questo è conosciuto come effetto matriciale.

La domanda di acqua è invece legata all'evapo-traspirazione della coltura. La crescita e la funzionalità cellulare sono intimamente legate al turgore: quando il turgore diviene nullo, le cellule collassano e le foglie appassiscono. Gli stomi sono molto sensibili al grado di turgore cellulare, chiudendosi alla sua riduzione in modo tale da ridurre la traspirazione: in questo modo, però, la pianta abbassa la sua

capacità di scambio con l'esterno, riducendo l'ingresso di CO_2 e, di conseguenza, la fotosintesi (Figura 11). Altra conseguenza di una ridotta traspirazione a causa della chiusura stomatica susseguente uno stato di stress idrico è l'aumento della temperatura fogliare, con notevoli danni in condizioni di clima caldo. Il mantenimento del turgore e la traspirazione sono perciò due fattori cruciali in condizioni di stress idrico.

La pianta può comunque mettere in atto meccanismi per minimizzare gli effetti dello stress idrico, mediante, ad esempio, l'aggiustamento osmotico (aumento della concentrazione di soluti nel vacuolo per rendere più negativo il potenziale osmotico), incrementando o decrementando l'elasticità della parete, diminuendo il volume cellulare, favorendo l'accrescimento radicale, incrementando la conduttanza idraulica dei tessuti.

Le specie vegetali, tuttavia, non necessitano di identiche quantità di acqua per poter esprimere al massimo le loro potenzialità di crescita; si riscontrano infatti specie con esigenze idriche elevate, e specie con moderate esigenze idriche. Tuttavia, specie con elevate esigenze idriche possono benissimo superare periodi con scarsa disponibilità idrica, grazie a particolari accorgimenti morfologici e/o fisiologici. L'esempio classico per quanto riguarda le specie ornamentali è dato dal *Nerium oleander*, specie a esigenze idriche medio-alte ma capace di resistere anche a prolungati periodi di stress grazie alla particolare struttura delle foglie: strato ceroso sopra l'epidermide e cavità stomatiche ricche di peli e tricomi all'interno delle quali gli stomi sono protetti contro l'eccessiva traspirazione.

Stress salino

La presenza di sali nella soluzione circolante può inibire la crescita per due ragioni:

1. la presenza di sali nel suolo riduce la capacità delle piante di assorbire l'acqua, con conseguente ridotta crescita. Questo fattore viene chiamato *effetto osmotico*;
2. se un'eccessiva quantità di sali entra nel flusso traspiratorio della pianta, ci saranno danni alle cellule a causa di un *effetto fitotossico* dei sali.

L'effetto osmotico riduce lo sviluppo fogliare e l'estensione dell'apparato radicale, diminuendo la conduttanza stomatica e, di conseguenza, la fotosintesi. I processi metabolici e cellulari sono simili a quelli relativi allo stress idrico. Normalmente i sali non vengono assorbiti nei tessuti in crescita a concentrazioni che possono inibire la crescita: i tessuti meristemati, infatti, vengono largamente riforniti di sostanze nutritive attraverso il floema dal quale i sali vengono esclusi, e le cellule in fase di estensione possono escludere i sali che giungono attraverso il flusso xilematico mediante compartimentazione vacuolare. In questo modo, i sali che arrivano alla pianta non inibiscono direttamente la crescita di nuovi tessuti. Tuttavia, la presenza di sali incrementa la senescenza fogliare. Un trasporto continuo in foglie pienamente traspiranti porta a un elevato accumulo in ioni quali Na^+ e Cl^- , con precoce morte dei tessuti. Il tasso di mortalità fogliare è cruciale per la sopravvivenza delle piante. Se nuove foglie riescono comunque a sostituire le vecchie foglie morte, il processo fotosintetico rimane inalterato e la pianta può produrre normalmente. In caso contrario, la pianta non potrà giungere alla piena produzione.

La riduzione della crescita consta di due fasi. Nella prima fase, la riduzione è apparente ed è dovuta alla presenza di ioni all'esterno delle radici, legata a un effetto osmotico. La seconda fase, invece, conduce a un danno dei tessuti, ed è geneticamente determinata. Il tasso al quale le vecchie foglie muoiono dipende dal tasso con il quale gli ioni sono accumulati.

Il controllo del trasporto di ioni avviene in quattro siti della pianta. Il controllo avviene a livello della corteccia radicale, nei tessuti xilematici, e nel punto di contatto fra questi due siti. Questi tre processi servono a ridurre la quantità di ioni trasportati nella parte superiore della pianta. Il controllo a livello fogliare avviene tramite l'esclusione dei sali presenti nella linfa floematica. Un meccanismo addizionale avviene in numerose alofite: esistono cellule specializzate per eliminare i sali in eccesso. L'esclusione è particolarmente importante per le specie perenni nelle quali le foglie possono vivere per più anni.

Tra la salinità del suolo e la produzione delle piante esiste una relazione lineare, che si può esprimere con la seguente equazione (modello di Maas e Hoffman, Figura 12):

$$Y = 100 - m (EC - S), \text{ con } EC > S$$

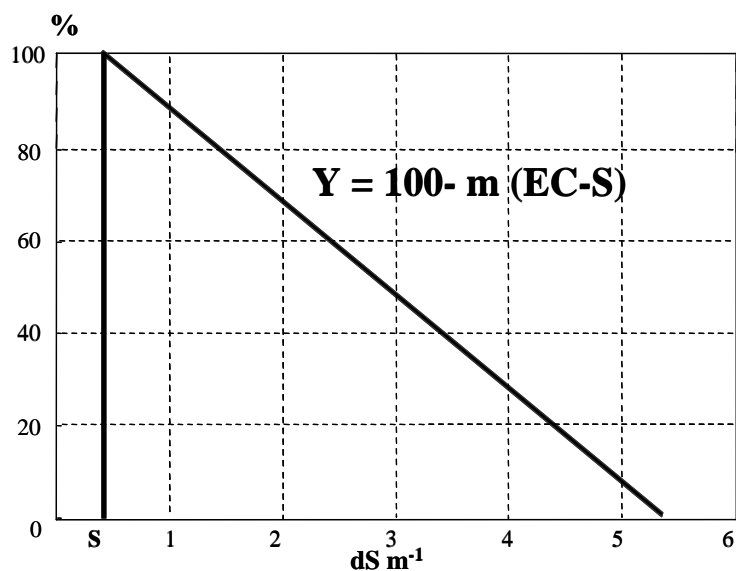


Figura 12 Modello di Maas-Hoffmann dell'effetto della salinità sulla diminuzione di p

dove Y = produzione della coltivazione rispetto alla massima possibile (%)

EC = salinità (dS/m)

S = soglia = EC massima oltre la quale si assiste a un decremento della produzione

m = pendenza (%/dS/m), indice di decremento produttivo.

Ovviamente, esisteranno specie maggiormente tolleranti di altre alla presenza di sali. La definizione di tolleranza alla salinità è solitamente legata alla percentuale di biomassa prodotta nei substrati salini rispetto ai substrati non salini, dopo aver

permesso la crescita per un periodo di tempo esteso. Per le specie ornamentali, la produzione considerata sarà quella data dalla quantità di fiori, oppure dalla presenza di foglie esteticamente perfette. Nella Tabella 13 viene riportato il grado di tolleranza alla salinità in alcune specie ortofloricole in idroponica.

Tabella 13 Valori di soglia e pendenza ottenuti per alcune colture ortive e floricole in idroponica

Coltura	Soglia dS m⁻¹	Pendenza %/ dS m⁻¹
Anthurium	0.8-0.9	7.8-13.2
Bouvardia	2.1	16.8
Garofano	4.3	3.9
Gerbera	1.5	9.8
Lilium	1.6	4.6-9.6
Rosa	2.1	5.3
Cetriolo	2.3-3.5	5.6-5.8
Lattuga	4.6	4.5
Melanzana	1.93	8.0
Peperone	2.8	7.6
Pomodoro	2.5-2.9	2.3-7.2

La sostanza organica nel terreno

Ciclo del carbonio e dell'azoto, trasformazione e dinamica del carbonio e dell'azoto nel terreno, i fertilizzanti organici e gli ammendanti del terreno

C. Ciavatta* e L. Cavani

*DISTA – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali – Università degli Studi di Bologna Viale Fanin, 44 – 40127, Bologna- Italy * claudio.ciavatta@unibo.it*

In queste pagine con l'ausilio di alcuni esempi di sperimentazioni condotte dal gruppo di ricerca degli scriventi si vogliono tratteggiare gli elementi fondamentali che caratterizzano la complessa problematica della mineralizzazione della sostanza organica nel terreno e della disponibilità degli elementi nutritivi.

All'interno del ciclo del carbonio organico nel terreno (della sostanza organica), si metteranno in rilievo gli aspetti che coinvolgono l'elemento chiave della fertilità, l'azoto (N), con particolare riferimento all'azoto organico.

Gli esempi riportati sono rivolti alla valutazione della mineralizzazione dell'azoto organico di prodotti impiegati nella fertilizzazione delle colture, cioè di concimi organici, prodotti che, come noto, pur appartenendo alla stessa categoria merceologica possono avere dinamiche molto diverse nel complesso sistema terreno-pianta.

Cessione dell'azoto da concimi organici: il ruolo della temperatura

Numerose ricerche hanno dimostrato che fertilizzanti organici d'origine e composizione diversa, distribuiti sul terreno, possono rilasciare nel tempo **elementi nutritivi in forme assimilabili** dalle piante. L'entità e la tempistica del rilascio paiono, in molti casi, compatibili con le esigenze nutritive delle principali specie vegetali di interesse agrario. Tali matrici quindi possono rappresentare un valido strumento tecnico alternativo attraverso cui l'agricoltore può trarne vantaggio tecnico-economico per cercare di migliorare l'efficienza delle concimazioni, in particolare di quelle azotate.

Tuttavia, alla ricerca rimane ancora il compito di fornire indicazioni per un migliore utilizzo dei fertilizzanti organici nei vari ambienti pedoclimatici italiani, alla luce anche di interventi legislativi che hanno lo scopo di limitare la diffusione di elementi in comparti ambientali diversi dal terreno. Vedi "direttiva nitrati" e azioni ad essa collegate⁴.

Come è noto, l'azoto organico (proteico e non proteico) presente nei fertilizzanti organici può essere utilizzato dalle piante solamente in seguito a processi di mineralizzazione capaci di trasformarlo in N minerale (ammoniacale prima, nitrico poi). Questi processi si realizzano attraverso diversi stadi di degradazione delle

⁴ La Direttiva Nitrati 676/91/CE regola la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento delle acque superficiali e profonde derivanti dall'attività agricola. A seguito di una procedura d'infrazione nei confronti dello Stato Italiano, attualmente archiviata, le regioni hanno dovuto aggiornare le zone definite vulnerabili (totalmente e parzialmente) e i programmi di Azione vigenti. Ad esempio, per la Regione Lombardia le nuove disposizioni sono contenute nella delibera 5868/07 e sua integrazione del dicembre 2009.

matrici con l'ausilio di **enzimi** e dipendono dal metabolismo di numerosi **microrganismi** che popolano i suoli. La fase iniziale della degradazione, ad esempio, dell'azoto proteico avviene per opera di proteasi extracellulari microbiche capaci d'idrolizzare i legami peptidici che portano alla formazione di polipeptidi che, a loro volta, idrolizzati da altri enzimi formeranno amminoacidi. Il processo globale della mineralizzazione dell'azoto proteico, che porta alla liberazione *in primis* di N ammoniacale, decorre in tre fasi sequenziali⁵: amminazione, ammonificazione e nitrificazione.

L'attività dei microrganismi coinvolti nei processi di mineralizzazione dell'azoto proteico è, come quella di tutti i microrganismi che vivono nel terreno, molto **influenzata dai fattori climatici e pedologici** che caratterizzano l'ambiente nel quale si trovano ad operare.

E' chiaro, quindi, che la corretta previsione della velocità con cui l'azoto contenuto nei fertilizzanti organici sarà rilasciato nel terreno, richiede la conoscenza di quanto lo scostamento di un parametro dal suo valore ottimale possa incidere sulla velocità di mineralizzazione della matrice. L'ottenimento di questo tipo di informazione si presenta oltremodo complicato perché i fattori pedologici e climatici in gioco s'influenzano a vicenda, attraverso processi sinergici e antagonisti, rendendo il sistema molto complesso. Tuttavia, si ritiene che in questa fase sia opportuno affrontare il problema studiando sistemi semplificati nei quali sia possibile isolare l'effetto di ogni singolo parametro. Questo tipo approccio è stato già applicato dagli scriventi con successo in precedenti esperienze nelle quali è stato chiaramente evidenziato l'effetto di diversi tipi di suoli (pedotipi) e il **ruolo della temperatura** sulla velocità di ammonificazione e nitrificazione di concimi azotati organici a base di gelatina per uso agricolo.

Attualmente sono in corso esperienze che hanno come scopo la messa a punto di un modello previsionale della mineralizzazione dell'azoto organico da fertilizzanti organici in funzione, non del tempo come si fa di solito, ma dell'energia termica disponibile in un determinato ecosistema.

La sperimentazione ha previsto l'utilizzo di un terreno franco-sabbioso nel quale sono state incubate a 20 °C e al 50% della capacità idrica di campo una serie di matrici organiche.

Mineralizzazione dell'azoto organico. L'approccio utilizzato ha permesso di studiare l'andamento dei processi di mineralizzazione tenendo conto dell'energia termica (temperatura) giornalmente a disposizione del sistema, data dalla somma delle unità termiche (GDD). L'energia termica, oltre ad avere un'influenza enorme sulla velocità dei processi di mineralizzazione del terreno, è anche un parametro caratterizzante i diversi ambienti pedoclimatici di possibile applicazione dei fertilizzanti organici. In questo modo è stato possibile stabilire, per ogni materiale studiato, la somma termica necessaria per la mineralizzare di una determinata quantità di N organico.

⁵ L'amminazione e l'ammonificazione sono a carico di microrganismi eterotrofi del suolo che utilizzano composti carboniosi come fonte d'energia. Il processo di nitrificazione è, invece, a carico di microrganismi autotrofi i quali ottengono energia dall'ossidazione di composti inorganici, ad esempio l'ammonio prodotto nell'ammonificazione, mentre utilizzano come fonte di carbonio l'anidride carbonica presente nell'atmosfera.

Mineralizzazione netta apparente. Nella Figura 13 sono mostrate le curve della mineralizzazione netta apparente, espressa in % dell'azoto da fertilizzante organico aggiunto al terreno, in funzione della somma termica. Il modello ha messo in evidenza che la matrice M2 (tesi F) richiede una somma termica maggiore di M1 per giungere alla stessa % di azoto mineralizzato, in sostanza M2 ha una mineralizzazione più lenta e quindi un rilascio di N minerale più graduale nel tempo.

Un altro aspetto interessante è legato alla % dell'azoto potenzialmente mineralizzabile (N_0). La matrice M2, infatti, nonostante richieda una somma termica piuttosto elevata per giungere a circa il 55% della mineralizzazione dell'azoto in essa contenuto, continuerà, a dispetto di M1, a rilasciare N minerale fino al 100% dell'azoto in funzione dell'energia termica disponibile. La matrice M1, incurante della termia del sistema, non rilascerà N minerale oltre la soglia del 55%, nonostante questa soglia sia raggiunta con somma termica relativamente bassa.

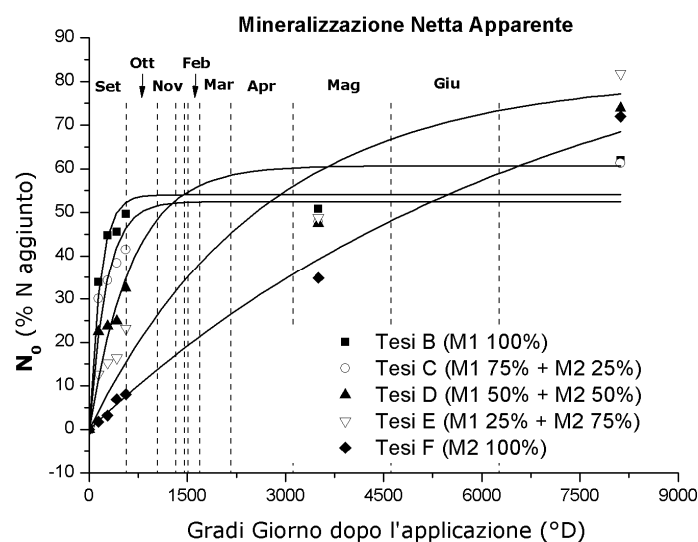


Figura 13 Mineralizzazione netta apparente delle miscele tra le matrici M1 e M2

L'applicazione del modello - L'uso dei GDD al posto del tempo ci permette di collegare, almeno in prima approssimazione, la mineralizzazione dell'azoto organico con l'andamento stagionale. Infatti, molte agenzie di servizi regionali (ad es. ARPA Emilia-Romagna) e nazionali (ad es. CNR) forniscono, in tempo reale, le sommatorie di GDD del territorio.

Ad esempio, sono stati riportati nella Figura 13 gli intervalli mensili di GDD registrati nel 2008 nella pianura emiliana. Dalla figura è possibile desumere che se la matrice M1 è applicata al terreno il primo giorno di settembre, alla fine del mese il rilascio di N mineralizzabile è praticamente completato, mentre alla stessa data meno del 10% dell'azoto contenuto nella matrice M2 dovrebbe risultare mineralizzato.

Sempre secondo questo modello interpretativo, se invece applicassimo i prodotti il primo giorno di novembre, nel caso di M1 questo risulterebbe completamente mineralizzato non prima della fine di febbraio, cioè dopo 4 mesi. Ovviamente questo modello, utilizzando una sola variabile (la temperatura), ha una capacità previsionale limitata. Un modello completo, ma con l'evidente handicap di essere al momento di

difficile applicazione, dovrebbe prendere in considerazione anche il regime idrico, le caratteristiche del terreno e l'effetto della vegetazione, se presente.

Sulla base dei risultati osservati possono essere tratte le seguenti considerazioni conclusive:

- dopo un anno d'incubazione nel terreno, in condizioni controllate, la mineralizzazione netta apparente è risultata pari al 60% circa nel caso di M1 e del 70% circa nel caso di M2;
- il tasso di mineralizzazione di M1, tuttavia, è risultato molto più elevato rispetto a M2, con una temperatura di emivita pari a circa 110 °D contro i circa 5000 °D necessari per M2;
- la sostanziale differenza fra mineralizzazione di M1 e M2 risiede, oltre che nella cinetica: decisamente rapida per M1 rispetto M2, anche nella diversa predisposizione dell'azoto contenuto ad essere stabilizzato nel terreno. Il fatto che una parte della matrice M1 teoricamente resti, nelle condizioni sperimentali, ancora nel terreno è ragionevolmente imputabile a processi di immobilizzazione nella biomassa microbica dell'azoto mineralizzato e/o anche alla parziale occlusione della matrice organica più fine nella fase minerale che ne rallentano la mineralizzazione;
- utilizzando la sommatoria di gradi-giorno (GDD) è possibile costruire un modello previsionale dell'andamento della mineralizzazione dell'azoto nel terreno di fertilizzanti organici ottenuti dalla miscela delle due matrici (Figura 14). Questo modello è caratterizzato dalla curva di mineralizzazione di M1 come limite superiore e quella di M2 come limite inferiore, fino al punto di convergenza dopo 5600 °D circa.

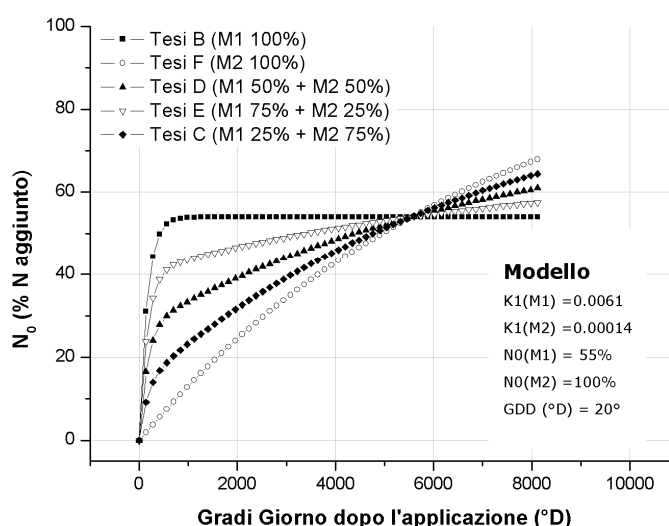


Figura 14 Modello previsionale delle curve di mineralizzazione nel terreno delle miscele dei due fertilizzanti organici M1 e M2

Aspetti applicativi

La parte applicativa di questo approccio è di grande rilevanza di ordine agronomico e ambientale, oltre che produttivo, in quanto è possibile:

- stabilire con sufficiente precisione la tempistica del rilascio dell'azoto organico in stretta relazione al fertilizzante somministrato e alla temperatura reale dell'area di impiego;
- ottimizzare quindi l'impiego agronomico in funzione della coltura;
- minimizzare i rischi di lisciviazione nelle falde dei nitrati;
- potere scegliere il prodotto più adatto all'areale di coltivazione e alla coltura che si intende coltivare;
- costruire prodotti ad hoc per l'area geografica d'uso e per la pianta da coltivare;
- riportare sulla confezione del prodotto posto in commercio, nella sezione dedicata alle modalità d'impiego, informazioni di questa natura.

Si ritiene che l'approccio sperimentale possa dare un contributo all'ottimizzazione dell'uso dei fertilizzanti organici nell'interesse dell'utilizzatore, del produttore e dell'ambiente, cioè di tutti noi. Vogliamo definirlo sostenibile?

Mineralizzazione dell'azoto organico in concimi a base di gelatina per uso agricolo

Grazie ai risultati ottenuti in anni di ricerche è possibile oggi sostenere che i fertilizzanti a base di gelatina per uso agricolo sono concimi organici azotati (cuoio e pelli idrolizzati) con la caratteristica di modulare nel tempo il rilascio di forme azotate assimilabili dalle piante. Il cuoio idrolizzato (gelatina per uso agricolo) rappresenta quindi uno strumento tecnico attraverso cui l'agricoltore può migliorare l'efficienza delle concimazioni azotate, realizzando al contempo un risparmio economico ed un vantaggio per l'ambiente. Tuttavia, alla ricerca rimane ancora il compito di fornire le indicazioni per un migliore utilizzo della gelatina per uso agricolo nei vari ambienti pedoclimatici italiani.

Come è noto, l'azoto proteico presente nella gelatina può essere utilizzato dalle piante solamente in seguito a processi di mineralizzazione capaci di trasformarlo in N minerale, così come descritto nel paragrafo intitolato cessione dell'azoto da concimi organici: il ruolo della temperatura. Il processo di nitrificazione è invece a carico di microrganismi autotrofi i quali ottengono energia dall'ossidazione di composti inorganici, ad esempio l'ammonio prodotto nell'ammonificazione, mentre utilizzano come fonte di carbonio l'anidride carbonica presente nell'atmosfera.

L'attività dei microrganismi coinvolti nei processi di mineralizzazione dell'azoto proteico è, come quella di tutti i microrganismi che vivono nel terreno, molto influenzata dai fattori climatici e pedologici che caratterizzano l'ambiente nel quale si trovano ad operare.

Tra questi si ricordano:

- **l'umidità:** l'attività dei microrganismi è ottimale alla capacità idrica di campo del terreno. Al di sotto ed al di sopra di questo punto la velocità di mineralizzazione tende a ridursi;
- **caratteristiche chimico-fisiche del terreno:** le condizioni migliori si riscontrano in terreni con valori del pH attorno a 7, tessitura di medio impasto ed elevato contenuto in humus;
- **temperatura:** la temperatura ottimale per l'attività dei microrganismi per i suoli italiani si aggira attorno ai 25-30 °C.

E' quindi chiaro che la corretta previsione della velocità con cui l'azoto contenuto nella gelatina sarà rilasciato nel terreno, richiede la conoscenza di quanto lo scostamento di un parametro dal suo valore ottimale possa incidere sulla velocità di mineralizzazione della matrice, così come descritto nel paragrafo cessione dell'azoto da concimi organici: il ruolo della temperatura.

In questo studio è stato valutato il ruolo della temperatura nei processi di mineralizzazione dell'azoto organico in un terreno trattato con concimi a base di cuoio e pelli idrolizzati (gelatina per uso agricolo), Fertorganico e Fertìl, caratterizzati da elevati titoli in N e carbonio (C) organico da scleroproteine (collagene). I prelievi di terreno sono stati fatti all'inizio (T0) e dopo 7 (T7), 15 (T15), 30 (T30), 60 (T60), 90 (T90) e 120 giorni (T120).

I concimi organici azotati impiegati erano rappresentati da un prodotto in scaglie, il Fertorganico, e uno in pellet, il Fertìl, i cui titoli principali erano (Tabella 14):

Tabella 14

Titoli	Fertorganico (scaglie)	Fertìl (pellet)
	N 11	N 12
Azoto (N) totale, di cui:	11,2 %	12,2 %
N ammoniacale	0,1 %	0,1 %
N nitrico	< 0,01 %	< 0,01 %
N organico	11,1 %	12,1 %
Carbonio organico (C) di origine biologica	40,7 %	41,8 %

Nella Figura 15 sono riportati i risultati relativi all'accumulo dell'azoto ammoniacale nel terreno trattato con Fertorganico e incubato a 5 e 23 °C.

A 5 °C l'accumulo di ammonio, già rilevabile a partire dal T7, ha avuto andamento crescente e modulato fino al T60. I processi d'immobilizzazione microbica e di nitrificazione, responsabili del consumo dell'ammonio nel nostro sistema

sperimentale, hanno poi avuto il sopravvento rispetto a quelli d'ammonizzazione determinando il calo dell'ammonio osservato tra il T60 ed il T120.

A 23 °C l'accumulo di N ammoniacale è stato poco significativo mantenendosi per tutto il periodo d'incubazione su livelli vicini a quelli del controllo.

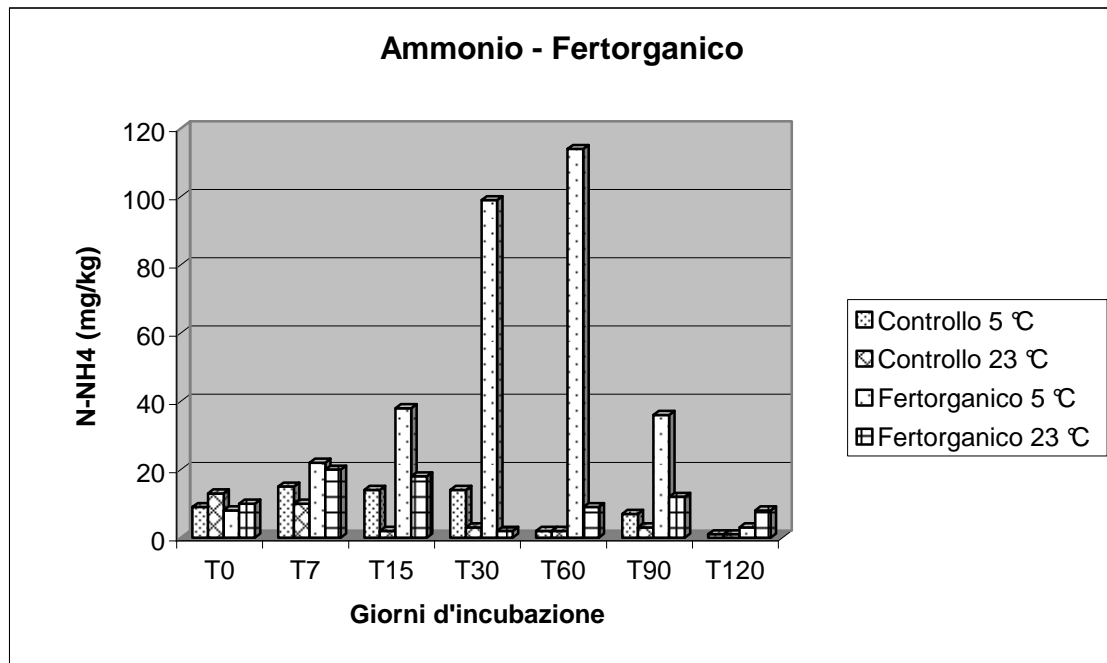


Figura 15 Andamento della concentrazione dell'ammonio nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertorganico N 11 e incubato a 5 e 23 °C

Nella Figura 16 sono riportati i risultati relativi all'accumulo dell'azoto nitrico nel terreno trattato con Fertorganico e incubato a 5 e 23°C.

A 5 °C l'accumulo di N nitrico è stato poco significativo, fino al T60, mantenendosi su livelli simili a quelli del controllo. Solo al T90 ed al T120 è stato possibile osservare un accumulo significativo di N nitrico.

A 23° C l'accumulo di nitrati è stato decisamente maggiore divenendo significativo già dal T7. L'accumulo di N nitrico, a questa temperatura, è poi proceduto con andamento crescente e modulato fino alla fine dell'incubazione.

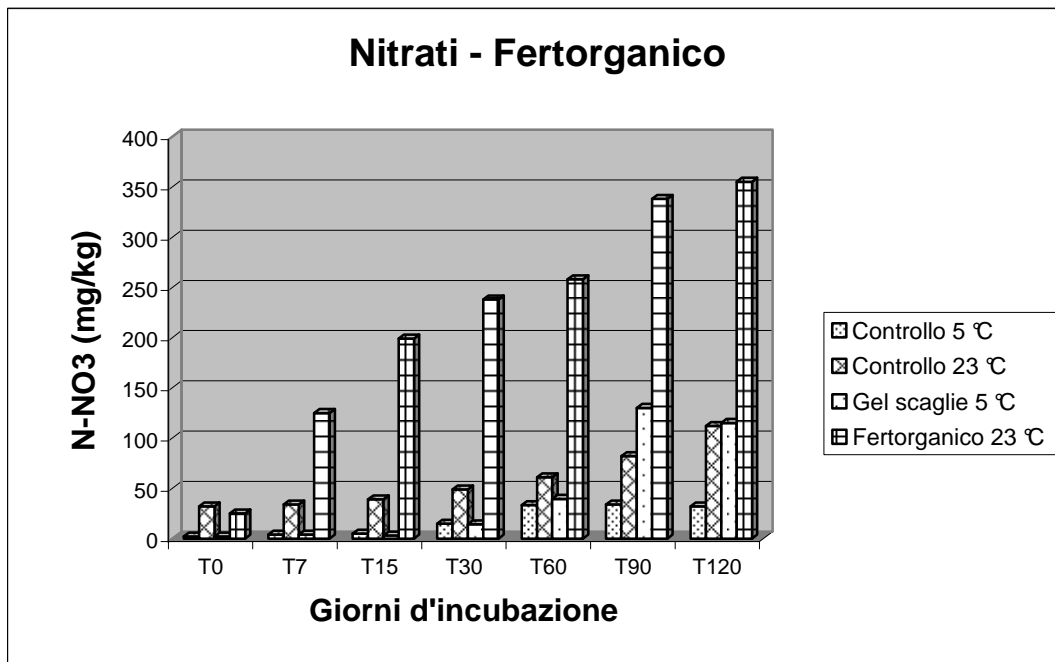


Figura 16 Andamento della concentrazione di nitrati nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertorganico N 11 e incubato a 5 e 23 °C

Dall'analisi integrata dei dati riportati nelle Figura 15 e Figura 16 possiamo evincere che il principale effetto della temperatura è stato quello di rallentare fortemente, nelle incubazioni eseguite a 5 °C, il processo di nitrificazione. Il forte accumulo di nitrati osservato invece nel terreno incubato a 23 °C sono testimonianza della forte intensità con cui l'attività ammonizzante e nitrificante hanno prodotto N minerale. In particolare l'elevata attività nitrificante ha impedito all'azoto ammoniacale, derivante dal processo di ammonizzazione, di accumularsi nel terreno in quantità significative. D'altra parte l'accumulo dell'ammonio osservato nei campioni trattati a 5 °C ha evidenziato che l'attività della biomassa eterotrofa, principale responsabile dei processi di ammonizzazione, previa sintesi e rilascio in ambito extracellulare di proteasi e amminoacido-ossidasi, ha risentito meno della biomassa nitrificante, prevalentemente di tipo autotrofo, della bassa temperatura.

Queste osservazioni possono essere ripetute in modo pressochè speculare anche a commento delle Figura 17 e Figura 18 che illustrano l'accumulo di ammonio e nitrati nel terreno trattato con Fertil.

L'interpretazione integrata degli accumuli d'ammonio e di nitrato in suoli trattati con Fertorganico e Fertil a due diverse temperature, una tipicamente invernale (5 °C) ed una tipicamente primaverile (23 °C), riportati nell e Figura 15- Figura 18, testimoniano di una modalità di rilascio e trasformazione dell'azoto organico da concimi a base di gelatina essiccata perfettamente compatibili, non solo con le esigenze nutrizionali delle piante, ma anche con quelle di salvaguardia ambientale. Ricordiamo che quest'ultime mirano, in particolare, a limitare l'accumulo nel terreno di nitrati durante quei mesi, prevalentemente invernali, nei quali accanto alla scarsa vegetazione erbacea e alla quiescenza di quella arborea, le perdite di acque per lisciviazione dal terreno possono talvolta superare quelle per evapotraspirazione. Dal punto di vista della trasformazione degli elementi nutritivi nel terreno questi risultati indicano

chiaramente che anche durante la stagione invernale, generalmente caratterizzata da basse temperature, i processi d'ammonizzazione dell'azoto organico contenuto nei concimi a base di gelatina procedono con un'intensità non trascurabile, ma al tempo stesso non eccessiva. Si noti, infatti, che nel sistema sperimentale a 5 °C, dopo 2 mesi di incubazione, è stato osservato un accumulo di N ammoniacale pari a circa 1/3, o poco più, dell'azoto organico addizionato al terreno con il concime (Figura 15 e Figura 17). Questo potrebbe garantire, ad inizio primavera con la crescita delle temperature medie, il rilascio nel terreno di N nitrico facilmente utilizzabile dalle piante attraverso un rapido incremento dei processi di nitrificazione.

In tempi successivi potremmo poi assistere al rilascio, in forma ammoniacale prima e nitrica poi, dell'azoto organico non ancora ammonizzato presente nella matrice gelatina. Allo stesso tempo l'accumulo nel terreno, durante la stagione fredda, di N ammoniacale, in assenza di processi di spinta nitrificazione, sono garanzia di una ridotta, se non nulla, perdita per lisciviazione di questa forma azotata.

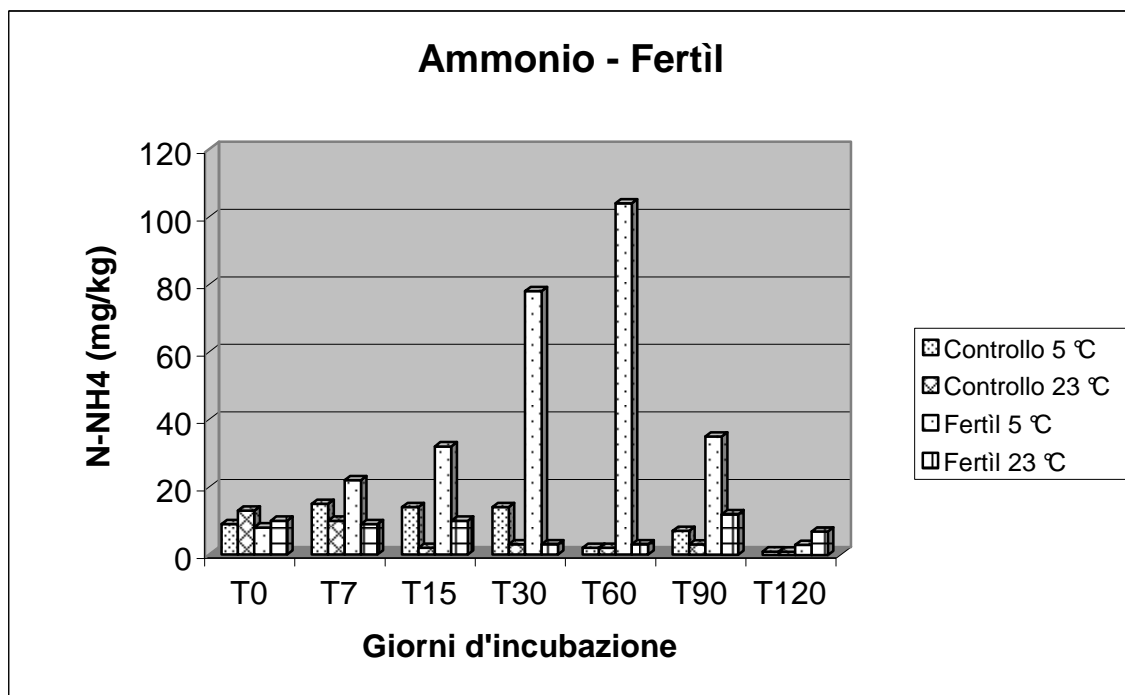


Figura 17 Andamento della concentrazione dell'ammonio nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertìl N 12 e incubato a 5 e 23 °C

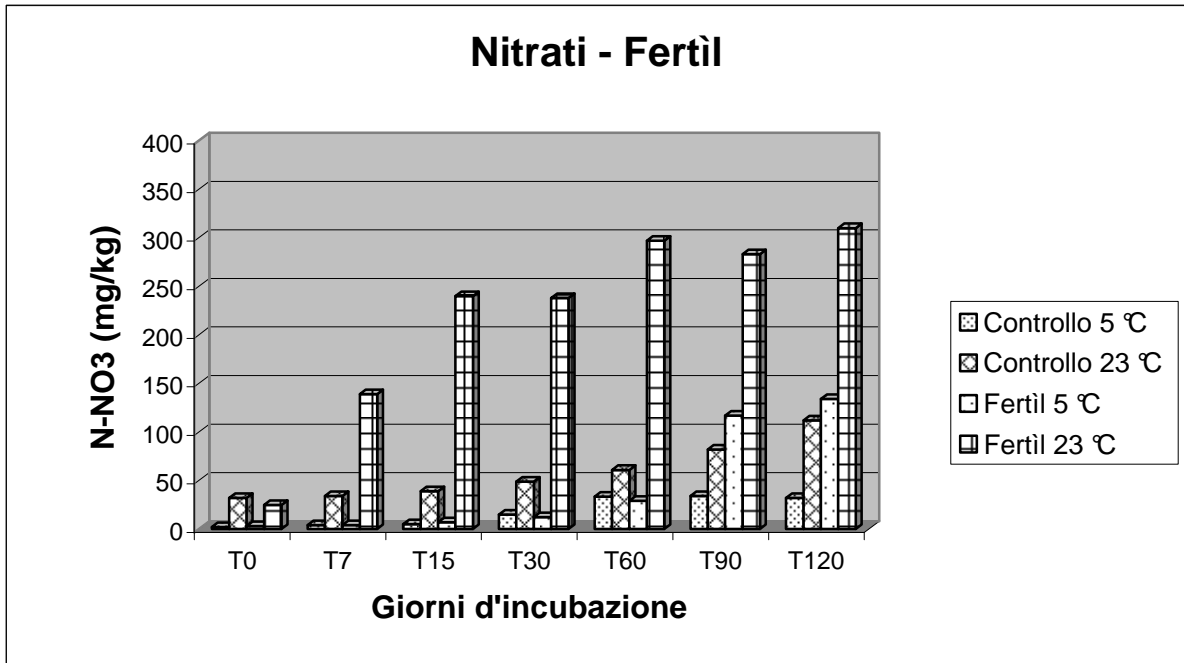


Figura 18 Andamento della concentrazione di nitrati nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertìl N 12 e incubato a 5 e 23 °C

Dall'osservazione della Figura 19 e Figura 20 possiamo evincere anche quale sia l'effetto generale della temperatura sull'accumulo delle forme minerali dell'azoto nei suoli trattati con Fertorganico e Fertìl. A 5 °C l'azoto assimilabile che si accumula nei suoli è stato la metà circa di quello accumulato nei suoli incubati a 23 °C, in alcuni casi anche meno. L'effetto osservato va naturalmente attribuito alla capacità delle basse temperature di rallentare l'attività della biomassa microbica del terreno, ed in particolare di quella nitrificante. Queste osservazioni sono altrettanto bene evidenziate nella Figura 21 e Figura 22 con l'andamento della percentuale di disponibilità di N minerale rispetto al totale dell'organico inizialmente aggiunto. Si tratta, come più volte precisato, di una valutazione anche se approssimata, in assenza di N marcato, della mineralizzazione netta dell'azoto organico del concime: seppure con tutti i limiti fornisce una buona idea della velocità di mineralizzazione di un prodotto, soprattutto in prove comparative.

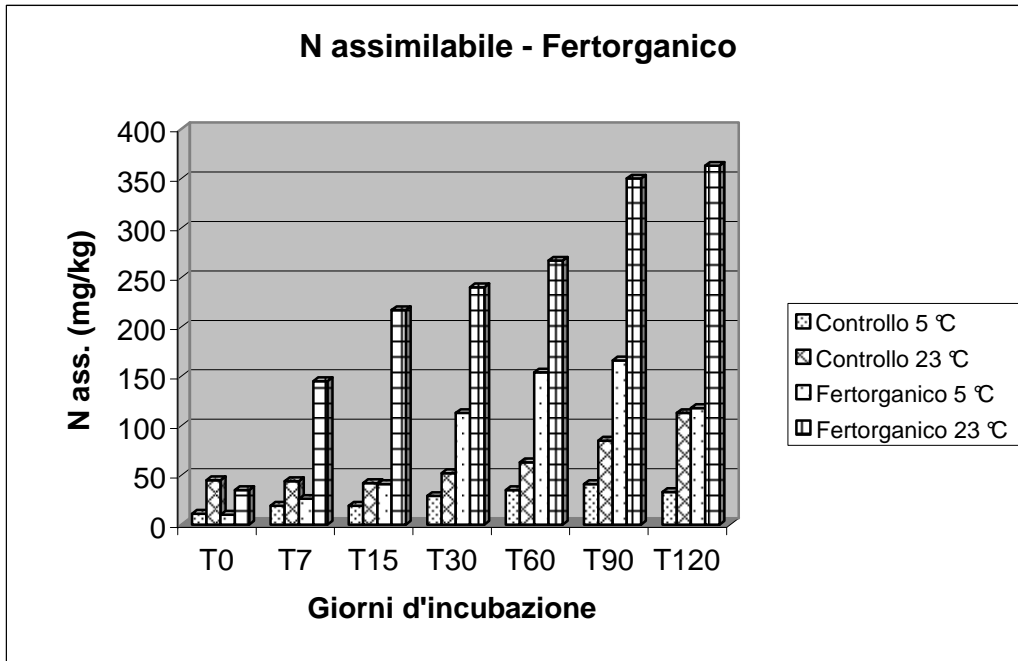


Figura 19 Andamento della concentrazione dell'azoto assimilabile ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertorganico N 11 e incubato a 5 e 23 °C

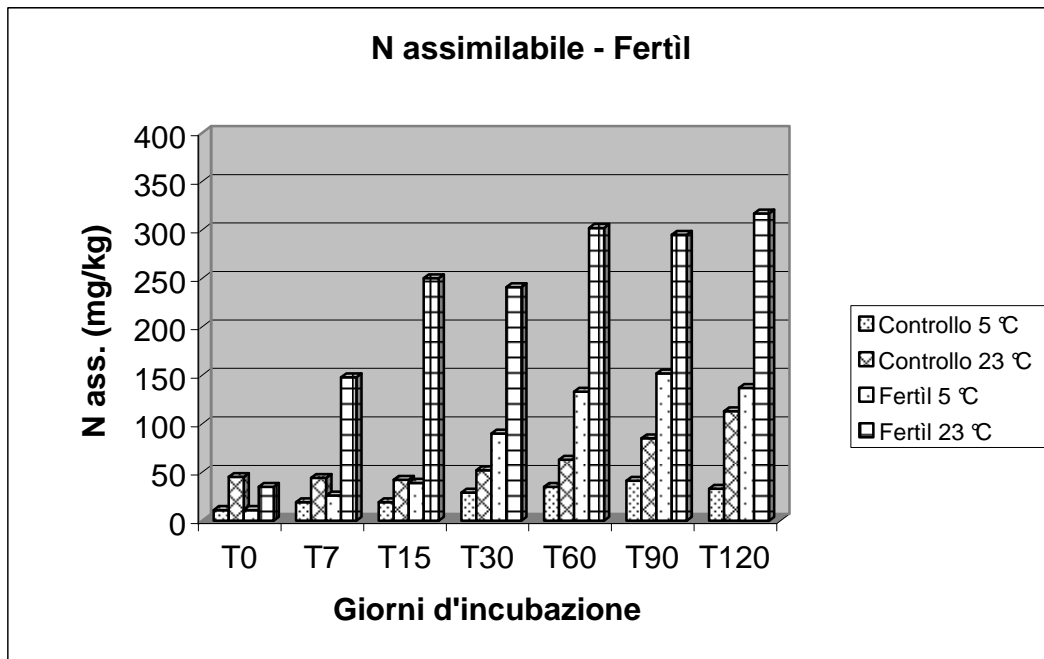


Figura 20 Andamento della concentrazione dell'azoto assimilabile ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertil N 12 e incubato a 5 e 23 °C

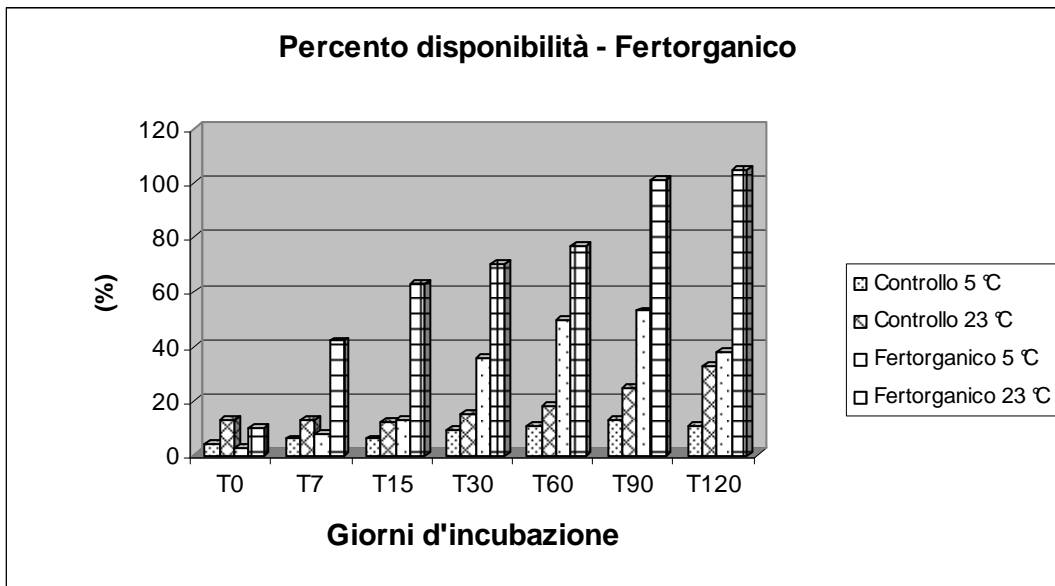


Figura 21 Andamento della percentuale dell'azoto assimilabile ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$), calcolato rispetto al valore iniziale (T0) nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertorganico N 11 e incubato a 5 e 23 °C

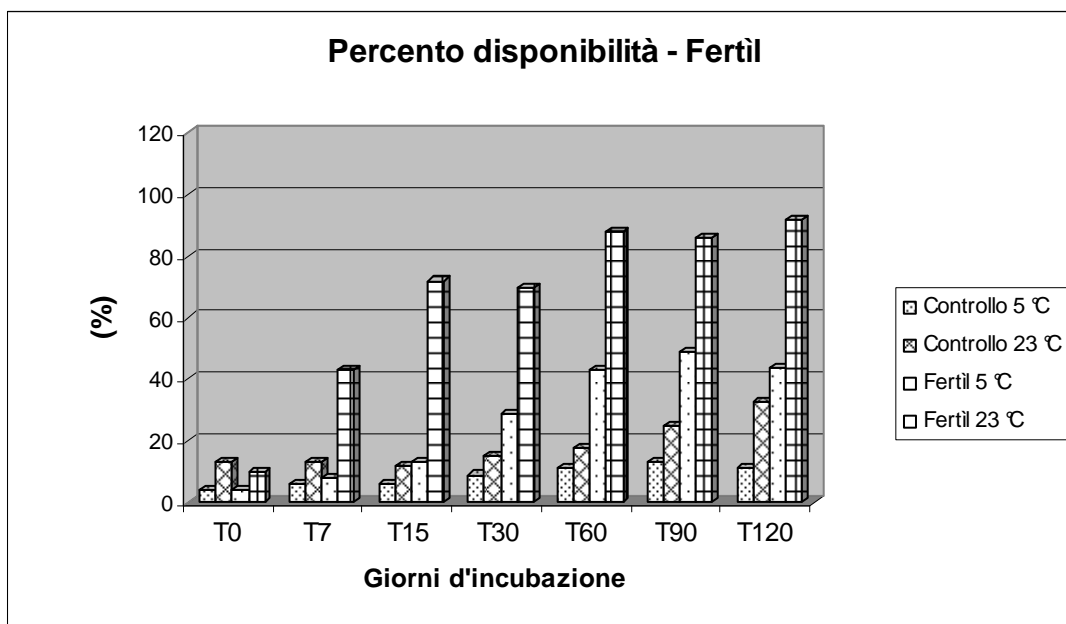


Figura 22 Andamento della percentuale dell'azoto assimilabile ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$), calcolato rispetto al valore iniziale (T0) nel terreno Franco-sabbioso (FS), concimato con Fertil N 12 e incubato a 5 e 23 °C

I risultati ottenuti in questa ricerca dimostrano, ancora una volta, la necessità d'impostare ricerche sempre più specifiche che siano in grado di descrivere l'influenza di diversi fattori pedo-climatici sul rilascio dell'azoto da diverse matrici organiche. Lo studio di queste relazioni, oltre a dare semplicemente conto delle curve di rilascio dell'azoto, si rivela sempre più anche un valido strumento per la valorizzazione le diverse matrici dimostrandone l'adeguatezza al soddisfacimento di esigenze di apporto di elementi nutritivi alle piante ed ambientali.

Aspetti applicativi

La sperimentazione ha portato a risultati di notevole importanza agronomica e ambientale:

- il rilascio dell'azoto è strettamente dipendente dalla temperatura;
- alla temperatura di 5 °C la trasformazione dell'azoto procede molto lentamente e si blocca alla forma ammoniacale per circa 60 giorni;
- dopo circa 60 giorni inizia il processo di nitrificazione con la lenta ma progressiva formazione di nitrati;
- è possibile somministrare concimi organici a base di gelatina idrolizzata anche nei mesi di gennaio e febbraio, in pieno fermo vegetativo, in quanto a fronte di una debole mineralizzazione non si ha formazione di nitrati;
- conoscendo la curva di mineralizzazione del concime è possibile minimizzare i rischi di lisciviazione dei nitrati;
- è opportuno che le aziende produttrici riportino sulla confezione del prodotto in commercio, nella sezione dedicata alle modalità d'impiego, informazioni di questa natura;
- attraverso l'approccio sperimentale della sommatoria dei gradi giorno presentato nella sezione A) è possibile conoscere le modalità di rilascio dell'azoto prodotto per prodotto.

Si ritiene pertanto che questi approcci sperimentali possano dare un effettivo contributo alla ottimizzazione dell'uso dei fertilizzanti organici.

Per ulteriori approfondimenti, si rimanda alla lettura delle seguenti fonti bibliografiche.

Cavani L., Ciavatta C. (2004). Ritenzione idrica in concimi a base di gelatina per uso agricolo. *L'Informatore Agrario* 33, 77-78.

Cavani L., De Biase G., Ciavatta C. (2008). Mineralizzazione di concimi a base di pellicino integrato: azoto minerale, attività enzimatica e biomassa microbica. *L'Informatore Agrario* 13. 64-69.

Gessa C.E., Ciavatta C. (2005). Gli elementi nutritivi. In: *Fondamenti di Chimica del Suolo* (P. Sequi, a cura di). Pàtron Editore, Bologna. Cap. 12, pp. 375-410.

Marzadori C., Ciavatta C. (2004). Gestione dell'azoto organico nei suoli agricoli. *Terra & Vita* 37, 64-68.

Marzadori C., Ciavatta C. (2006). Come limitare le perdite di azoto. *Terra & Vita* 34, 56-58.

Ramieri N.A., Marzadori C., Ciavatta C. (2004a). Disponibilità di azoto minerale in suoli fertilizzati con concimi a base di cuoio e pelli idrolizzati. *L'Informatore Agrario* 26, 43-46.

Ramieri N.A., Marzadori C., Ciavatta C. (2004b). Ruolo della temperatura sui concimi a base di gelatina per uso agricolo. *L'Informatore Agrario* 37, 35-40.

Sequi P. (1991). Sostanza organica e ciclo del carbonio. In: *Chimica del Suolo* (a cura di P. Sequi). Cap. 12., pp. 247-278. Pàtron Editore, Bologna.

Sequi P. (1998). Concimi organici a base proteica. In: *I Fertilizzanti Organici - Quaderni PANDA* (a cura di A. Benedetti e P. Sequi). Cap. IV, pp. 29-48. Edizioni *L'Informatore Agrario*, Verona.

Silva S., Beone G.M. (2005). I fertilizzanti. In: *Fondamenti di Chimica del Suolo* (a cura di P. Sequi). Cap. 7, pp. 411-436. Pàtron Editore, Bologna.

Varanini Z., Nannipieri P. (1993). Mineralizzazione della sostanza organica e assorbimento dei nutrienti da parte delle piante. In: *Ciclo della Sostanza Organica nel Suolo* (a cura di P. Nannipieri). Cap. 7., pp. 79-84. Pàtron Editore, Bologna.

La nutrizione minerale: carenza ed eccesso dei nutrienti e ottimizzazione della fertilizzazione

F. Tei*

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Università degli Studi di Perugia, Borgo XX Giugno, 74 – 06121, Perugia Italy * ftei@unipg.it

Carenza ed eccesso dei nutrienti

Gli ortaggi sono caratterizzati da un contenuto generalmente elevato in acqua, elementi minerali, vitamine e sostanze anti-ossidanti, da un ridotto contenuto di grassi e da un limitato apporto di calorie (vedi www.inran.it : Banche dati → Tabelle di composizione degli alimenti → Verdure ed Ortaggi).

Gli elementi nutritivi necessari ai fabbisogni fisiologici delle piante sono generalmente distinti in due gruppi principali in funzione della loro concentrazione nei tessuti vegetali: macronutrienti (elementi necessari in grande quantità) e micronutrienti (richiesti in piccolissime quantità o in tracce) (Tabella 15). Carbonio, idrogeno e ossigeno sono tratti dall'acqua e dall'anidride carbonica dell'aria, mentre tutti gli altri elementi nutritivi sono naturalmente presenti nel terreno e/o apportati con la fertilizzazione.

Tabella 15 Concentrazione di nutrienti nelle piante
- continua -

Elemento	Forma nella quale è assorbito	Concentrazione indicativa nella pianta intera ⁽¹⁾	Principali funzioni fisiologiche
MACRONUTRIENTI			
Carbonio	CO ₂	44%	Componente di composti organici
Ossigeno	H ₂ O, O ₂	44%	Componente di composti organici
Idrogeno	H ₂ O	6%	Componente di composti organici
Azoto	NO ₃ , NH ₄ ⁺	1 – 5 %	Costituente di aminoacidi, proteine, nucleotidi, clorofilla, coenzimi, acidi nucleici – forte azione di stimolo della crescita

Elemento	Forma nella quale è assorbito	Concentrazione indicativa nella pianta intera ⁽¹⁾	Principali funzioni fisiologiche
Fosforo	H_2PO_4^- , HPO_4^-	0.1 – 0.8 %	Formazione di composti ad alta energia (ATP, ADP, CP); costituente di acidi nucleici, proteine, acidi fitici, prodotti di riserva, fosfolipidi associati alle proteine di membrana e nel mantenimento della struttura di membrana; azione della nitrato riduttasi (interazione positiva con N)
Potassio	K^+	0.5 – 0.6 %	Equilibrio e trasporto di membrana; attivatore numerosi enzimi; sintesi proteica (attivatore aminoacidi); controllo apertura stomatica (movimento cellule di guardia); aumento tolleranza freddo e siccità; miglioramento qualità organolettiche (colorazione, profumo, dimensione, sapidità) dei frutti
Calcio	Ca^{++}	0.2 – 3.5 %	Entra nella composizione delle pareti cellulari (pectato di calcio); cofattore enzimatico; permeabilità cellulare; importante per l'assorbimento di N; aumenta resistenza meccanica tessuti adulti (da cui non è traslocato)

Elemento	Forma nella quale è assorbito	Concentrazione indicativa nella pianta intera ⁽¹⁾	Principali funzioni fisiologiche
Magnesio	Mg ⁺⁺	0.1 - 0.8 %	Costituente della clorofilla e di molti enzimi presenti nei cloroplasti che entrano nel processo fotosintetico; implicato nel metabolismo del P; stabilità sub-unità ribosomali; interazione positiva con N (soprattutto nitrico)
Zolfo	SO ₄ ²⁻	0.05 – 1 %	Incorporato in due aminoacidi (cisteina e metionina) precursori di altri composti solforati (coenzimi e prodotti secondari del metabolismo della pianta); livello di sulfolipidi nelle radici sembra positivamente correlato con la tolleranza a stress salino
MICRONUTRIENTI			
Ferro	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	25 – 300 ppm	Importante ruolo nello sviluppo e nella integrità dei cloroplasti (catalizzatore sintesi della clorofilla); attivatore di numerose reazioni redox (molti enzimi contengono un gruppo con ferro); regola respirazione, fotosintesi, riduzione di nitrati e solfati
Manganese	Mn ⁺⁺	15 – 800 ppm	Attiva molti enzimi; fotosintesi e ossidazione delle auxine; implicato nella regolazione della respirazione e della sintesi proteica; agisce nella protezione delle membrane cellulari
Rame	Cu ⁺⁺	4 – 30 ppm	Ruolo importante formazione della clorofilla e nella respirazione; catalizzatore di reazione redox ; influenza attività di molti enzimi

Elemento	Forma nella quale è assorbito	Concentrazione indicativa nella pianta intera ⁽¹⁾	Principali funzioni fisiologiche
Boro	BO_3^- , B_4O_7^-	5 – 75 ppm	Mantenimento integrità strutturale membrana cellulare; differenziazione, divisione e maturazione cellulare; regolazione contenuto idrico della pianta (trasporto); implicato in fioritura, germinazione polline, fruttificazione
Zinco	Zn^{++}	15 – 100 ppm	Implicato in numerosi enzimi della sintesi proteica e dei carboidrati (necessario per l'accrescimento); necessario per la sintesi della clorofilla; svolge un ruolo importante nella fisiologia riproduttiva
Molibdeno	MoO_4^-	0.1 – 5 ppm	Essenziale per la sintesi della clorofilla e per il metabolismo dei composti azotati (entra nella nitrato-riduttasi)
Cloro	Cl^-	10 – 10000 ppm	Regolazione osmosi e bilancio ionico; attività foto sintetica nelle reazioni in cui è prodotto ossigeno

⁽¹⁾ (da Raven et al., 2002)

I fabbisogni nutritivi e di fertilizzazione sono, però, largamente determinati dalla complessa interazione tra le caratteristiche genetiche della specie orticola e della cultivar e l'ambiente di coltivazione (pedoclima e pratiche agronomiche): questo impone la necessità di applicare criteri e metodiche precise ed affidabili per determinare lo stato effettivo di carenza ed eccesso di un nutriente nella pianta e per elaborare protocolli di gestione della fertilizzazione finalizzati all'ottenimento di adeguati livelli quanti-qualitativi delle produzioni nel rispetto dell'ambiente e della salute dell'uomo.

La diagnosi dello stato di carenza o eccesso di nutrienti può essere effettuata secondo due metodiche principali:

- individuazione ed analisi di sintomi visibili di carenza o eccesso;
- determinazione della concentrazione di nutrienti nella pianta e confronto con livelli di concentrazione critica opportunamente determinati e tabulati.

È opportuno sottolineare che se la concentrazione dei nutrienti nella pianta non è molto al di sotto (o al di sopra) della soglia critica i sintomi di carenza/tossicità possono anche non essere visibili.

Diagnosi dei disordini nutrizionali mediante sintomi visibili

Gli effetti visibili di carenze degli elementi nutritivi sono correlati, in molti casi, alle loro funzioni nei sistemi metabolici della pianta, ma a causa dell'interazione di numerosi altri fattori (attacchi parassitari; inquinamento ambientale; stress salino; caratteristiche fisiche del terreno; stadio della pianta; mobilità del nutriente nella pianta; tasso di crescita; deficienza acuta o cronica; competizione/antagonismo tra elementi nutritivi) si possono avere sintomi simili per nutrienti diversi, fenomeni di "mascheramento" più o meno intensi e variabilità nella localizzazione del sintomo (<http://4e.plantphys.net>) che rendono la diagnosi mediante sintomi visibili un metodo solo indicativo e, talvolta, poco attendibile.

Per i nutrienti più mobili all'interno della pianta (es. N e K) i sintomi di carenza si sviluppano soprattutto nelle foglie più vecchie e mature in quanto la pianta sotto stress nutrizionale trasloca il nutriente dalle foglie più mature a quelle più giovani ed ai tessuti di crescita che, pertanto, si mantengono in uno stato nutrizionale più favorevole. La localizzazione tipica degli elementi poco mobili (es. Ca, B, Fe) si sviluppa, all'opposto di quelli mobili, a partire dalle foglie e dai tessuti più giovani, mentre le foglie più vecchie rimangono in uno stato nutrizionale più favorevole; comunque, in uno stato di moderata carenza nutrizionale se le piante hanno una crescita lenta la limitata mobilità può essere sufficiente a evitare sintomi nei tessuti più giovani, mentre con elevati tassi di crescita la pianta sviluppa sintomi di carenza di intensità elevata nei tessuti in rapida crescita come i bordi fogliari e gli apici meristemati (es. *tip burn* nella lattuga). Se i nutrienti hanno una moderata mobilità (es. S, Mg) i sintomi sono generalmente distribuiti sull'intera pianta anche se il tasso di crescita e la reale disponibilità di nutrienti determinano differenza nella localizzazione dei sintomi: infatti, se la disponibilità del nutriente è marginale rispetto al tasso di crescita i sintomi appariranno sui tessuti più vecchi mentre se la carenza è molto forte e/o i tassi di crescita sono bassi i sintomi si localizzeranno prima sui tessuti più giovani.

La Tabella 16 riporta la descrizione sintetica dei sintomi più evidenti, mentre la Figura 23 mostra le chiavi per l'individuazione dei principali disordini nutrizionali mediante sintomi visivi.

Tabella 16 Descrizione sintetica dei sintomi di carenza ed eccesso di nutrienti nelle colture orticole – continua -

Elemento	Sintomi di carenza	Sintomi di eccesso
Azoto	<ul style="list-style-type: none"> - crescita stentata e foglie di colore verde-giallastro (clorosi) - ingiallimento parte dalle foglie più vecchie che gradualmente necrotizzano - con deficienza cronica la pianta imbrunisce e muore - senescenza e caduta prematura foglie - nelle crocifere le foglie sviluppano spesso una intensa colorazione porpora, rossa o arancio (perdita di clorofilla e evidenza pigmenti supplementari) - maturazione accelerata frutti - colatura fiori - bassa produzione 	<ul style="list-style-type: none"> - ritardo ciclo di sviluppo (alcuni giorni) - maggiore suscettibilità a allettamento, malattie, danni da gelo - maggiori consumi idrici (maggiore LAI e traspirazione) - accumulo nitrati nei tessuti vegetali (foglie, steli): rischio alimentare - dilavamento nitrati: rischio ambientale (inquinamento falde) - minore allegagione dei fiori (in termini %)
Fosforo	<ul style="list-style-type: none"> - crescita stentata - foglie giovani verde scuro - foglie vecchie rosse o porpora, verde-bluastro opaco - clorosi dalle foglie vecchie alle giovani - piante deboli e filate - foglie con ridotto margine fogliare - picciolo fogliare forma angolo acuto con lo stelo - scarsa formazione di frutti - specie più suscettibili: carota, lattuga, spinacio, fagiolino, cipolla, rapa - specie meno suscettibili: cavolo, cavolfiore, pisello, ravanella 	<ul style="list-style-type: none"> - molto raro - clorosi per insolubilizzazione di Fe, Mn e Zn

Elemento	Sintomi di carenza	Sintomi di eccesso
Potassio	<ul style="list-style-type: none"> – crescita stentata – meno ramificazioni e foglie – foglie vecchie con margini necrotici e incurvati (o verso il basso o verso l'alto) – internodi brevi – appassimento fogliare – clorosi internervale sulle foglie vecchie e poi ingiallimento su tutta la foglia – bruciature marginali possono essere precedute da clorosi del margine con piccole macchie marroni irregolari; poi le macchie si allargano, confluiscono e coprono le aree internervali – specie più suscettibili: spinacio, cavolo broccolo, cavolfiore, lattuga, fava, cipolla, rapa – specie meno suscettibili: cavolo, carota, pisello 	<ul style="list-style-type: none"> – carenza di Mg, N e Ca
Calcio	<ul style="list-style-type: none"> – compare su giovani foglie e vicino ai punti di crescita di steli e radici – foglie piccole e crescita stentata – giovani foglie: apice arrotolato e necrotico, margini clorotici, flaccide, deformate, margine arrotolato verso l'alto, a volte bucate – pomodoro e peperone: marciume apicale – lattuga: tip burn – sedano: cuore nero 	<ul style="list-style-type: none"> - clorosi per fissazione Fe e B
Magnesio	<ul style="list-style-type: none"> – compare tardi sulle foglie più vecchie: perdita di colore verde nelle zone internervali seguita da imbianchimenti – poi necrosi e filloptosi (linea di abscissione nel picciolo) – margini ricurvi verso il basso – pisello, pomodoro: margini fogliari ingialliscono e poi si colorano di rosso-arancio o porpora – cavolfiore, cavolo broccolo: foglie con aree con colorazioni rossastre – difficile da distinguere dalla carenza di potassio – un antagonismo con il K (rapporto K:Mg > 3) 	<ul style="list-style-type: none"> – carenza di K e Ca

Elemento	Sintomi di carenza	Sintomi di eccesso
Zolfo	<ul style="list-style-type: none"> – poco mobile nelle pianta per cui le carenze compaiono nei germogli e nelle giovani foglie – clorosi internervale e ingiallimento che parte dai margini e dall'apice della lamina fogliare – spesso pagina inferiore rossastra e picciolo rosato – riduzione dello sviluppo: steli meno spessi, minore numero e dimensione delle foglie – lamina fogliare incurvata a coppa o cucchiaio – radici e steli molto lunghi e lignificano – specie molto suscettibili: cavolo, ravanella, rapa – specie mediamente suscettibili: cavolfiore, cavolo broccolo, lattuga, cipolla, pisello, spinacio – specie poco suscettibili: fava, fagiolino, carota, sedano 	
Ferro	<ul style="list-style-type: none"> – clorosi internervale delle foglie più giovani – parte dall'apice fogliare e procede verso il basso – casi più gravi: imbianchimento fogliare – riduzione numero e dimensione foglie – crescita stentata – abbassamenti produttivi 	<ul style="list-style-type: none"> – -carenze di Mn
Manganese	<ul style="list-style-type: none"> – piante con crescita stentata soprattutto sulle foglie giovani e mediane – clorosi internervale su foglie giovani pienamente sviluppate – poi macchie necrotiche che confluiscono e possono interessare tutta la lamina – pisello e fagiolo: macchie necrotiche e caduta dei semi aperti – spinacio: minore espansione della lamina che assume forma a freccia 	<ul style="list-style-type: none"> – clorosi fogliare (antagonismo con Fe) – lattuga molto suscettibile
Rame	<ul style="list-style-type: none"> – foglie giovani di dimensione ridotta – decolorazione (bianco – grigio) internervale a chiazze – poi imbrunimenti e necrosi – margini fogliari incurvati indentro – internodi raccorciati – crescita stentata – produzione ridotta 	<ul style="list-style-type: none"> – clorosi foglie basali, macchie necrotiche e filloptosi – antagonismo con Mn, Fe, Mo

Elemento	Sintomi di carenza	Sintomi di eccesso
Boro	<ul style="list-style-type: none"> – precoce ritardo della crescita – foglie piccole, ispessite, clorotiche, con lamina ridotta, distorte, imbrunite e poi necrotiche, precoce filloptosi – internodi brevi – piccioli e peduncoli fiorali spesso con spaccature – apici necrotici – appassimenti anche con adeguata disponibilità idrica – pomodoro: oltre a clorosi e necrosi anche imbrunimento purpureo delle nervature – crocifere: stelo cavo e imbrunito – specie più suscettibili: carota, lattuga, ravanella, spinacio, pomodoro, cipolla – specie meno suscettibili: fagiolo, pisello, patata, cetriolo 	<ul style="list-style-type: none"> – arrotolamento e disseccamento margine foglie adulte – macchie necrotiche
Zinco	<ul style="list-style-type: none"> – poco mobile (sintomi sulle foglie più giovani) – foglie con clorosi internodali, piccole, picciolo corto – internodi raccorciati (aspetto cespuglioso) – carenze gravi: crescita molto stentata, fioritura precoce, colatura fiori, foglie necrotiche, margine bruciato e incurvato, filloptosi 	
Molibdeno	<ul style="list-style-type: none"> – arresto di sviluppo – clorosi (simile a deficienza N) e necrosi dei margini fogliari – lamina fogliare distorta e ridotta (es. cavolfiore “a frusta”) – morte degli apici – appassimenti fogliari – aborto di fiori e infiorescenze 	<ul style="list-style-type: none"> – - foglie colore arancio brillante
Cloro	<ul style="list-style-type: none"> – carenza rara – foglie giovani di forma anormale – clorosi – appassimento – in fasi avanzate: bronzature pagina superiore e filloptosi 	



Figura 23 Chiave dei sintomi visivi dei principali disordini nutrizionali.

* I sintomi si riferiscono a carenze se non specificato diversamente. I sintomi di carenza di zolfo normalmente si verificano prima sulle foglie più giovani ma in condizioni di carenza prolungata si può avere un generale ingiallimento della pianta intera (fonte: University of Minnesota: www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/M1190.html).

Concentrazione critica dei nutrienti

La determinazione analitica della concentrazione dei nutrienti nella pianta permette di valutare lo stato nutritivo della coltura tenendo conto degli intervalli di sufficienza dei macroelementi (Tabella 17) e microelementi (Tabella 18) e delle loro concentrazioni tossiche (Tabella 19) determinati sperimentalmente. E' opportuno ricordare che la concentrazione critica (la concentrazione minima che assicura la massima crescita) varia non solo in relazione alla specie ma anche allo stadio fenologico e alla porzione di pianta campionata. Nel caso dell'azoto, alcuni autori (Greenwood et al., 1990; Lemaire e Gastal, 1997) hanno trovato che la relazione tra la concentrazione critica di azoto (%Nc) e la sostanza secca prodotta dalla parte aerea della pianta (DW, t ha⁻¹) è simile nelle specie C₃ (%Nc = 4.8 DW^{-0.34} come relazione media per le specie C₃) e in quelle C₄ (%Nc = 3.6 DW^{-0.34}). Tuttavia, ogni specie ha una sua propria "curva di diluizione" in funzione delle specifiche caratteristiche istologiche, morfologiche ed eco fisiologiche per cui relazioni specie-specifiche sono state determinate in patata (Greenwood et al., 1990), cavolo (Riley e Guttormsen, 1999), peperone (Tei et al., 1996), pomodoro da industria (Tei et al., 2002) e lattuga (Tei et al., 2003).

Tabella 17 Intervalli di sufficienza della concentrazione di macroelementi nelle principali orticole (% della s.s.)

Coltura	Parte della pianta ⁽¹⁾	Stadio di campionamento	N	P	K	Ca	Mg	S
			%	%	%	%	%	%
bietola	LF	5 sett. dalla semina	3.0-5.0	0.3-0.4	2.0-6.0	1.5-2.0	0.25-1.0	0.6-0.8
carota	FMRF	60 g dalla semina	1.8-2.5	0.2-0.4	2.0-4.0	2.0-3.5	0.2-0.5	0.2-0.4
cipolla & aglio	FMRF	bulbificazione	2.0-3.0	0.2-0.5	1.5-3.0	0.6-0.8	0.15-0.30	0.2-0.6
endivia	FVI	8 ^a foglia	4.5-6.0	0.5-0.8	4.5-6.0	2.0-4.0	0.25-0.60	0.3-0.8
fagiolino	FMRF	inizio fioritura	3.0-4.0	0.3-0.5	2.0-3.0	0.8-1.5	0.25-0.45	0.2-0.4
fragola	FMRF	1 ^a raccolta	3.0-3.5	0.2-0.4	1.5-2.5	0.4-1.5	0.25-0.50	0.2-0.6
lattuga iceberg	FVI	8 ^a foglia	4.0-5.0	0.4-0.6	5.0-7.0	1.7-2.0	0.3-0.5	0.3-0.8
lattuga romana	FVI	8 ^a foglia	5.0-6.0	0.4-0.8	5.0-6.0	2.0-3.0	0.25-0.35	0.3-0.8
melanzana	FMRF	inizio allegagione	4.2-5.0	0.3-0.6	3.5-5.0	0.8-1.5	0.25-0.6	0.4-0.6
patata	FMRF	altezza 25 cm	3.0-6.0	0.2-0.8	3.5-6.0	0.6-2.0	0.3-0.6	0.3-0.5
peperone	FMRF	inizio fioritura	3.0-5.0	0.3-0.5	2.5-5.0	0.9-1.5	0.3-0.5	0.3-0.6
pomodoro da mensa	FMRF	1° palco fiorale	2.8-4.0	0.2-0.4	2.5-4.0	1.0-2.0	0.3-0.5	0.3-0.8
ravanello	FMRF	vicino alla raccolta	3.0-4.5	0.3-0.4	1.5-3.0	1.0-2.0	0.3-0.5	0.3-0.6
scarola	FVI	8a foglia	4.2-5.0	0.5-0.6	5.7-6.5	1.7-2.2	0.25-0.35	0.3-0.8
sedano	PE	6 sett. dal trapianto	1.5-1.7	0.3-0.6	6.0-8.0	1.3-2.0	0.3-0.6	
spinacio	FMRF	30 g dopo la semina	3.0-4.5	0.3-0.5	3.0-4.0	0.6-1.0	1.0-1.6	0.3-0.6

⁽¹⁾ LF = lamina fogliare; FMRF = foglie mature di recente formazione (lamina + picciolo); PE = picciolo più esterno; FVI = foglia più vecchia non danneggiata Fonte: Olson S.M & Simonne E. (2008) Vegetable Production Handbook for Florida 2007-2008 - University of Florida; Hochmuth et al., (2009)

Tabella 18 Intervalli di sufficienza della concentrazione di microelementi nelle principali orticole (ppm della s.s.)

Coltura	Parte della pianta ⁽¹⁾	Stadio di campionamento	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
bietola	LF	5 sett. dalla semina	40-200	30-200	15-30	30-80	5-10	0.2-0.6
carota	FMRF	60 g dalla semina	30-60	30-60	20-60	20-40	4-10	
cipolla & aglio	FMRF	bulbificazione	50-100	10-20	15-20	10-25	5-10	
endivia	FVI	8 ^a foglia	50-150	15-25	30-50	25-35	5-10	0.1-0.4
fagiolino	FMRF	inizio fioritura	25-200	20-100	20-40	15-40	5-10	0.4-0.8
fragola	FMRF	1 ^a raccolta	50-100	30-100	20-40	20-40	5-10	5.0-8.0
lattuga iceberg	FVI	8 ^a foglia	50-150	20-40	25-50	15-30	5-10	0.1-0.4
lattuga romana	FVI	8 ^a foglia	50-150	15-25	20-50	30-45	5-10	0.1-0.4
melanzana	FMRF	inizio allegagione	50-100	50-100	20-40	20-40	5-10	0.5-0.8
patata	FMRF	altezza 25 cm	40-150	30-60	30-60	20-60	5-10	0.1-0.2
peperone	FMRF	inizio fioritura	30-150	30-100	25-80	20-50	5-10	0.2-0.8
pomodoro da mensa	FMRF	1° palco florale	40-100	30-100	25-40	20-40	5-15	0.2-0.6
ravanello	FMRF	vicino alla raccolta	30-50	20-40	30-50	15-30	3-10	0.1-0.2
scarola	FVI	8 ^a foglia	50-150	15-25	30-50	20-30	4-6	0.1-0.4
sedano	PE	6 sett. dal trapianto	20-30	5-10	20-40	15-25	4-6	
spinacio	FMRF	30 g dopo la semina	50-150	50-100	50-70	20-40	5-7	0.1-1.0

⁽¹⁾ LF = lamina fogliare; FMRF = foglie mature di recente formazione (lamina + picciolo); PE = picciolo più esterno; FVI = foglia più vecchia non danneggiata. Fonte: Olson S.M & Simonne E. (2008) Vegetable Production Handbook for Florida 2007-2008 - University of Florida; Hochmuth et al., (2009)

Tabella 19 Concentrazioni tossiche di microelementi nelle principali orticole (ppm della s.s.)

Coltura	Parte della pianta ⁽¹⁾	Stadio di campionamento	Mn	Zn	B
			ppm	ppm	ppm
bietola	LF	5 sett. dalla semina			> 650
cipolla & aglio	FMRF	bulbificazione			> 100
fagiolino	FMRF	inizio fioritura	> 1000		> 150
fragola	FMRF	1 ^a raccolta	> 800		
peperone	FMRF	inizio fioritura	> 1000		> 350
pomodoro da mensa	FMRF	1° palco fiorale	> 1500	> 300	> 250
ravanello	FMRF	vicino alla raccolta			> 85

⁽¹⁾ LF = lamina fogliare; FMRF = foglie mature di recente formazione (lamina + picciolo); PE = picciolo più esterno; FVI = foglia più vecchia non danneggiata Fonte: Olson S.M & Simonne E. (2008) Vegetable Production Handbook for Florida 2007-2008 - University of Florida; Hochmuth et al., (2009)

Ottimizzazione della fertilizzazione

Una gestione ottimale della fertilizzazione ha come scopo la determinazione di adeguate dosi, tempi, formulazioni e metodi di applicazione degli elementi nutritivi che tengano conto dei seguenti fattori (Rahn, 2002; Hartz, 2003; Neeteson et al., 2003; Tesi, 2008):

- effetti dei principali elementi nutritivi sulla quantità e qualità della produzione;
- fabbisogni totali della coltura;
- ritmi di assorbimento dei nutrienti da parte della pianta;
- dotazione del terreno in elementi fertilizzanti durante il ciclo colturale;
- efficienza di utilizzazione da parte della pianta dei concimi applicati;
- rischi ambientali (es. lisciviazione) e igienici (es. accumulo di nitrati nelle parti eduli) connessi con la concimazione.

E' evidente che le problematiche teoriche ed applicative connesse con l'ottimizzazione della fertilizzazione variano fortemente in funzione dell'elemento nutritivo considerato: la lisciviabilità dell'azoto lungo il profilo del terreno causa difficoltà e incertezze nella elaborazione del suo bilancio nel sistema "pianta-suolo" che non si hanno con il fosforo ed il potassio facilmente trattenuti dalla componente colloidale del terreno ma soggetti a fenomeni di insolubilizzazione o con i microelementi, la cui carenza è generalmente meno frequente e gestita solo in casi di sintomi evidenti.

Bilancio dell'azoto

I rischi ambientali (inquinamento da nitrati delle acque di superficie e di falda) e alimentari (accumulo di nitrati nelle parti eduli degli ortaggi a foglia) (Greenwood, 1990; Neeteson e Carton, 2001) connessi con il destino dell'azoto nell'agroecosistema hanno spinto il mondo della politica e della ricerca ad elaborare leggi, normative, strategie e soluzioni tecniche al fine di gestire in maniera sostenibile la concimazione azotata. Purtroppo, a causa dei numerosi fattori che agiscono sul bilancio dell'azoto nel sistema "suolo-pianta-atmosfera" la gestione della concimazione azotata è piuttosto articolata come spiegano in modo accurato alcune ottime *reviews* sull'argomento (si veda ad esempio: Neeteson, 1995; Rahn, 2002; Tremblay et al., 2003; Tesi e Lenzi, 2005; Agostini et al., 2010). Comunque sia, la definizione quantitativa, anche se talvolta grossolana, delle diverse componenti del bilancio dell'azoto nel sistema "suolo-pianta-atmosfera" è il punto di partenza di qualunque metodo di stima della fertilizzazione azotata.

Burns (2006) definisce la quantità di azoto assorbita dalla coltura (U_N) come la somma di quella assorbita proveniente dalla fertilizzazione (U_F) e dal terreno (U_S) secondo la seguente equazione:

$$U_N = U_F + U_S = f_F \cdot N_F + f_S \cdot N_S$$

dove N_F e N_S sono, rispettivamente, le quantità di azoto applicate con la concimazione e quella disponibile nel terreno e f_F e f_S sono le corrispondenti efficienze di assorbimento delle due quantità. Dato che la quantità di azoto disponibile "naturalmente" nel terreno è insufficiente per soddisfare i fabbisogni della coltura, la quota rimanente deve essere apportata con la concimazione. Burns (2006) definisce anche la dose ottimale di N applicata con la concimazione come la quantità minima necessaria ad ottenere la risposta desiderata. Di conseguenza alla dose di concimazione ottimale (N_{Fopt}), U_N diventa equivalente al fabbisogno totale della coltura (T_N) tale che $T_N = f_F \cdot N_{Fopt} + f_S \cdot N_S$ dove N_{Fopt} è anche inteso come la richiesta di concimazione azotata per la coltura in esame.

Le componenti del bilancio dell'azoto nel sistema "suolo-pianta-atmosfera" che devono essere prese in considerazione sono le seguenti:

- *entrate*: N minerale nel terreno all'impianto; N derivante da mineralizzazione della sostanza organica (humus, residui colturali) durante il ciclo colturale; N da precipitazioni; N da acqua di irrigazione; N da concimazione minerale e organica;
- *uscite*: N assorbito della coltura (fabbisogno colturale); N minerale non assorbito dalla coltura e perso per lisciviazione, immobilizzazione, denitrificazione, nitrificazione, fissazione di NH_4^+ , volatilizzazione di NH_3 .

L'azoto minerale nel terreno all'impianto può essere misurato in maniera analitica (in laboratorio o con test rapidi - vedi più avanti) o stimato in funzione della tessitura e del contenuto di N totale del terreno (Tabella 20).

Tabella 20 N minerale prontamente utilizzabile a inizio ciclo determinato in funzione della tessitura del terreno e del contenuto di N totale. (Fonte: Disciplinari Produzione Integrata Regione Campania)

Tessitura	Densità apparente	N minerale disponibile
	kg L ⁻¹	kg ha ⁻¹
tendenzialmente sabbioso	1.42	28.4 x N totale ‰
franco	1.30	26.0 x N totale ‰
tendenzialmente argilloso	1.21	24.3 x N totale ‰

L'azoto derivante dalla mineralizzazione della sostanza organica umificata durante il ciclo colturale non è molto facile da determinare in quanto il processo è regolato da condizioni pedo-climatiche difficili da generalizzare e da controllare. In genere, la stima si può effettuare o sulla base di dati tabulati che tengono conto della tessitura del terreno, del contenuto % della sostanza organica del terreno e del suo rapporto C/N (Tabella 21 e Tabella 22) oppure adottando funzioni empiriche come quella proposta da Ruhlmann (1999):

$$MNRLT = 674 \text{ CDEC} [0,0069 \exp(-4,294 \text{ CDEC}) + 0,0012]$$

$$\text{CDEC} = \text{CORG} - 0,017x + 0,001 \exp(0,075x)$$

dove MNRLT = tasso di mineralizzazione (kg N ha⁻¹ d⁻¹ a 15°C); 674 = coefficiente di calibrazione; CDEC = % di carbonio decomponibile dalla sostanza organica presente; CORG = % di carbonio organico; x = % di argilla del terreno.

Tabella 21 Quantità di azoto mineralizzato in un anno (kg ha⁻¹ anno⁻¹) a partire dalla s.o. presente nel terreno in funzione del contenuto e del rapporto C/N della sostanza organica e della tessitura del terreno. (Fonte: Disciplinari Produzione Integrata Regione Emilia-Romagna)

Rapporto C/N della sostanza organica	Tessitura del terreno	% di sostanza organica				
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
< 9	Sabbioso	36	72	98	144	180
	Medio impasto	24	48	72	96	120
	Argilloso	9	36	54	72	90
9-12	Sabbioso	18	35	53	70	88
	Medio impasto	12	24	36	48	60
	Argilloso	6	12	18	24	36
>12	Sabbioso	12	24	36	48	60
	Medio impasto	10	20	30	40	50
	Argilloso	3	6	9	12	15

Tabella 22 Quantità di azoto mineralizzato in un anno (kg ha⁻¹ anno⁻¹) a partire dalla s.o. presente nel terreno in funzione del rapporto C/N della sostanza organica e della tessitura del terreno. (Fonte: Disciplinari Produzione Integrata Regione Campania)

C/N	Tessitura	N mineralizzato
> 12	tendenzialmente sabbioso	24 x s.o. %
	franco	20 x s.o. %
	tendenzialmente argilloso	6 x x s.o. %
9 - 12	tendenzialmente sabbioso	36 x s.o. %
	franco	24 x s.o. %
	tendenzialmente argilloso	12 x s.o. %
< 9	tendenzialmente sabbioso	42 x s.o. %
	franco	26 x s.o. %
	tendenzialmente argilloso	18 x s.o. %

I residui delle colture precedenti una volta interrati subiscono notoriamente un processo di demolizione che porta in tempi brevi alla liberazione di azoto (Tabella 23 e Tabella 24).

Tabella 23 N da mineralizzazione dei residui colturali (da AA.VV) –continua-

Residui colturali di:	N da residui kg/ha
Barbabietola	30
Cereali autunno-vernini	
- paglia asportata	- 10
- paglia interrata	- 30
Colza	20
Girasole	0
Masi	
- stocchi asporatati	- 10
- stocchi interrati	- 40

Residui colturali di:	N da residui kg/ha
Prati	
- medica in buone condizioni	80
- prato polifita con più del 15% di leguminose, medicaio diradato	60
- prato polifita con 5-15% di leguminose	40
- prato polifita con meno del 5% di leguminose	15
- di breve durata, trifoglio	30
Patata	35
Orticole	25-30
Soia	10
Leguminose da granella	40
Sorgo	- 40
Sovescio di leguminose	50

Nelle normali condizioni ambientali circa il 70% dell'azoto presente in forma organica nei residui colturali diventa disponibile per l'assorbimento da parte della coltura che segue entro circa 10 settimane dall'incorporazione nel terreno (Scharpf, 2001). Se però questi materiali risultano caratterizzati da un rapporto C/N elevato si verifica l'effetto contrario con una temporanea riduzione della disponibilità di azoto (immobilizzazione); tale fenomeno è causato dai microrganismi che operano la decomposizione dei residui i quali avendo bisogno di azoto per la crescita se non lo trovano in quantità sufficiente nei residui che stanno demolendo utilizzano l'azoto minerale presente nella soluzione circolante del terreno. Comunque, la quantità di azoto che mineralizza ed il tempo necessario alla mineralizzazione possono variare significativamente in funzione della composizione dei residui (es. rapporto C/N, contenuto lignina e cellulosa, presenza di inibitori dell'attività microbica come i glucosinolati...), dei fattori pedo-climatici (es. il tasso di mineralizzazione è correlato positivamente con la temperatura del terreno) e colturali (es. i residui si depongono più facilmente se trinciati più finemente). Ovviamente anche i compost od il sovescio come fonte di azoto seguono le medesime problematiche: Benincasa et al. (2004) hanno trovato, per esempio, che sovesci di favino e veccia villosa impiegati in agricoltura biologica possono apportare al terreno 200-300 kg ha⁻¹ di azoto.

Tabella 24 Azoto potenzialmente liberato per mineralizzazione dei residui colturali (da Tremblay et al., 2003; modificato)

Coltura	Biomassa fresca interrata (t/ha)	N potenzialmente liberato per mineralizzazione (kg/ha)
lattuga, ravanello, mais	< 10	< 30
porro, spinacio, cavolo rapa	10-20	30-90
sedano, fagiolo, lattuga iceberg	20-30	60-90
cavolo cappuccio, broccolo, verza	40-50	90-120
cavolo di Bruxelles	50-60	150-200

L'acqua di irrigazione può contenere significative quantità di azoto che devono essere assolutamente tenute in considerazione per la precisione del bilancio e dei piani di concimazione: per esempio, con una concentrazione in nitrati di 50 mg/L ed un volume stagionale di adacquamento di 4000 m³/ha si apportano circa 45 kg/ha di azoto.

La componente del bilancio relativa all'azoto apportato con la concimazione (minerale e/o organica) può essere un dato acquisito se si tratta di un bilancio *ex-post* oppure calcolato come differenza tra le altre voce di entrate e uscite o stimato con altri metodi (vedi più avanti) se lo scopo del bilancio è di elaborare piani di concimazione.

Riguardo alle uscite del bilancio, la voce sicuramente più importante è quella relativa alla quantità di azoto assorbito dalla coltura (fabbisogno colturale) (Tabella 25). Il fabbisogno totale di azoto dipende principalmente dalla biomassa prodotta dato che, come detto in precedenza, la relazione tra la concentrazione critica di N e la biomassa è molto simile nelle specie C₃. I fabbisogni colturali sono spesso sintetizzati in tabelle basate su affidabili esperimenti agronomici ad uso di tecnici ed agricoltori. Le tabelle generalmente riportano la quantità di azoto necessaria alla coltura per garantire un certo livello di produzione al fine di permettere aggiustamenti della dose di concimazione al cambiare dei livelli produttivi attesi. In alcuni casi si fa riferimento alla sola asportazione (

Tabella 26), cioè alla quantità di elementi nutritivi che sono presenti sulle parti eduli e che perciò, nel bilancio, escono dal campo con la raccolta della parte utile della pianta (l'assorbimento totale comprende, invece, anche le quantità di elemento che si localizzano nelle parti della pianta non raccolte e che rimangono in campo con i residui). Per una corretta gestione della fertilizzazione è altresì importante conoscere non solo il fabbisogno totale della coltura ma anche i ritmi di assorbimento durante il ciclo (

Tabella 27): questo è cruciale per poter applicare i concimi in maniera frazionata, per esempio mediante fertirrigazione (Battilani, 2001).

Tabella 25 Assorbimento di N-P-K nelle principali orticole (da AA.VV) –continua-

Coltura	Parte edule	Resa ipotizzata t/ha	Assorbimento elementi nutritivi kg/ha		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bietola da coste	foglie	50	130	70	180
Cavolo cappuccio	foglie	30	150	60	220
Cavolo verza	foglie	30	200	90	240
Cicoria	foglie	35	180	90	250
Finocchio	foglie	30	150	50	200
Lattuga	foglie	25	120	50	180
Sedano	foglie	40	200	80	300
Spinacio	foglie	15	120	50	180
Asparago	stelo	5	180	70	200
Carciofo	infiorescenza	15	200	100	250
Cavolfiore	infiorescenza	30	200	80	250
Cavolo broccolo	infiorescenza	15	150	75	200
Fagiolino	legume	10	100	30	70
Pisello fresco	seme	6	60	30	50
Cetriolo	frutto	70	150	60	220
Cocomero	frutto	50	100	50	150
Fragola	frutto	20	150	70	250
Melanzana	frutto	40	200	80	230
Melone	frutto	35	120	60	180
Peperone	frutto	50	180	80	250
Pomodoro	frutto	60	160	60	250

Zucchina	frutto	30	200	80	280
Carota	radici	40	150	70	250
Rapa	radici	25	120	60	200
Aglione	bulbo	12	120	60	120
Cipolla	bulbo	30	120	60	120
Patata	tubero	30	150	60	300

Tabella 26 Coefficienti di asportazione di azoto, fosforo e potassio (kg per 100 kg di prodotto) delle principali colture orticole. (Fonte: Comitato Tecnico-Scientifico Nazionale dei Disciplinari di Produzione Integrata) – continua-

Coltura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Coltura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Aglio	1,26	0,37	0,75	Lattuga in coltura protetta	0,31	0,09	0,50
Asparago verde	2,14	0,60	2,08	Melanzana	0,54	0,21	0,68
Basilico	0,87	0,77	1,11	Melone	0,37	0,17	0,59
Bietola da coste	0,44	0,23	0,57	Patata	0,41	0,16	0,71
Bietola da foglie	0,52	0,30	0,55	Peperone	0,44	0,11	0,50
Broccoletto di rapa	0,40	0,10	0,53	Peperone in pieno campo	0,40	0,15	0,50
Broccolo	0,51	0,15	0,50	Pisello (fresco)	1,25	0,46	0,74
Cappuccio	0,52	0,19	0,56	Pisello (fresco) + paglia	4,75	1,30	4,00
Carciofo	0,89	0,36	1,25	Pomodoro da industria	0,26	0,18	0,37
Cardo	0,59	0,20	0,70	Pomodoro da mensa in pieno campo	0,28	0,18	0,40
Carota	0,43	0,36	0,76	Pomodoro da mensa in serra	0,27	0,18	0,40
Cavolfiore	0,45	0,20	0,61	Porro	0,40	0,15	0,35
Cavolo Rapa	0,44	0,22	0,40	Prezzemolo foglie	0,29	0,13	0,39
Cetriolo	0,22	0,14	0,25	Prezzemolo pianta intera	0,26	0,08	0,48
Cicoria	0,48	0,31	0,98	Radicchio	1,64	0,30	0,94
Cipolla	0,33	0,13	0,34	Rapa	0,60	0,45	1,20
Cocomero	0,21	0,14	0,29	Ravanello	0,38	0,23	0,47
Endivia (riccia e scarola)	0,46	0,32	0,68	Scalogno	0,27	0,13	0,27
Fagiolino da industria	0,43	0,20	0,60	Sedano	0,58	0,23	0,90
Fagiolino da mercato fresco	0,67	0,28	0,83	Spinacio da industria	0,53	0,18	0,83
Fagiolo	0,77	0,26	0,84	Spinacio da mercato fresco	0,52	0,17	0,80
Fagiolo secco	7,00	3,10	6,90	Verza	0,56	0,20	0,55

Coltura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Coltura	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fava	0,73	0,20	0,60	Verza da industria	0,50	0,21	0,55
Finocchio	0,59	0,13	0,87	Zucca	0,34	0,16	0,70
Fragola	0,54	0,25	0,91	Zucchini da industria	0,47	0,21	0,84
Lattuga	0,28	0,12	0,54	Zucchini da mercato fresco	0,43	0,20	0,86

Tabella 27 Durata (settimane), tassi medi di assorbimento di azoto ($\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) e % di N assorbito rispetto al totale delle diverse fasi del ciclo di crescita di pomodoro da industria e lattuga calcolati sulla base delle funzioni adattate ai dati osservati. Tra parentesi gli errori standard (da Tei et al., 2005)

Fase di crescita	pomodoro da industria			lattuga		
	n. settimane	$\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	%N ass. sul totale	n. settimane	$\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	%N ass. sul totale
esponenziale	4	0.66 (0.227)	6	2	0.26 (0.056)	4
lineare	7	4.85 (0.142)	79	5	2.93 (0.125)	96
finale	4	1.63 (0.172)	15	NR*	-	-

*NR = non raggiunta; raccolta effettuata durante la fase lineare

Ma anche sotto le migliori condizioni le piante sono capaci di assorbire solo una frazione dell'azoto applicato con i fertilizzanti; la parte restante non è disponibile per la coltura ed è perduta a causa di diversi processi: denitrificazione, lisciviazione, immobilizzazione, volatilizzazione e fissazione (dello ione ammonio per adsorbimento da parte dei colloidali terreno).

Le perdite per denitrificazione nei terreni coltivati possono essere elevate soltanto quando piogge consistenti si verificano dopo applicazioni con concimi azotati su terreni a tessitura fine, e anche in quel caso si stima che non più di 15-20 kg/ha di azoto sono denitrificati per evento piovoso. La volatilizzazione di ammoniaca (NH_3) dipende da diversi fattori: fonte di ammoniaca (fertilizzanti inorganici come urea, o nitrato-ammonico, liquami, letame...); pH del terreno (la volatilizzazione aumenta a $\text{pH} > 7$); temperatura (aumenta a T° elevate); umidità del terreno (aumenta in terreni secchi). In pratica sia le perdite per denitrificazione che quelle per volatilizzazione sono generalmente ritenute trascurabili in un bilancio dell'azoto in colture orticole (Tremblay et al., 2003; Agostini et al., 2010).

La lisciviazione può verificarsi in qualunque momento durante il ciclo colturale in relazione alla quantità, intensità e frequenza degli eventi piovosi, al metodo e intensità delle irrigazioni, alla quantità e distribuzione dell'azoto lungo il profilo del terreno, alle caratteristiche fisiche e chimiche del terreno, alla profondità e architettura degli apparati radicali della coltura, cioè a tutti quei fattori che influenzano i movimenti della soluzione circolante del terreno al di sotto della zona esplorata dalle radici (Greenwood, 1990) e che sono ancora ritenute di difficile

definizione, soprattutto in un contesto predittivo (Hartz, 2003). In un ambiente serricolo con coltivazione su terreno agrario, se l'irrigazione e la fertirrigazione sono condotte accuratamente, anche la lisciviazione può essere considerata trascurabile e omessa dal bilancio.

Come precedentemente sottolineato, l'azoto del terreno disponibile per la coltura non è tutto assorbito in quanto le colture manifestano generalmente una limitata efficienza di assorbimento degli elementi nutritivi naturalmente presenti nel terreno o apportati con la concimazione (Schenk, 2006). Greenwood et al. (1989) definiscono il prelievo apparente relativo (*Apparent Recovery*, REC) dell'azoto apportato con la fertilizzazione come:

$$REC = (U_f - U_0)/N_f$$

dove REC = frazione della dose di azoto distribuito che viene assorbita dalla coltura (prelievo apparente relativo); U_f = azoto assorbito (kg ha^{-1}) dalla pianta quando è applicata la dose N_f (kg ha^{-1}); U_0 = N assorbito (kg ha^{-1}) nelle parcelle non concimate.

Gli stessi autori mostrano come nelle orticole la relazione tra dose e assorbimento di N decresce linearmente secondo la seguente equazione:

$$REC = REC_0 - b N_f$$

dove REC_0 = valore stimato di REC con una quantità infinitamente piccola di N_f ; b = decremento lineare del REC al crescere della dose di azoto applicata.

Il REC varia in funzione della specie (Greenwood et al., 1989; Tei et al., 1999, 2000, 2002; Burns, 2006) in quanto dipende dall'efficienza con la quale le piante estraggono l'azoto dal terreno in relazione alle differenze nella funzionalità e architettura dell'apparato radicale (Thorup-Kristensen e Sørensen 1999), ma è anche influenzato dalle condizioni pedo-climatiche, dalle pratiche agronomiche e dal metodo di applicazione dei fertilizzanti (Burns, 2006; Benincasa et al., 2010). Sebbene il REC sia una grossolana stima dell'efficienza di assorbimento dell'azoto da fertilizzanti da parte di una coltura (termine f_F dell'equazione di bilancio citata in precedenza), la conoscenza dei valori di REC per una specie (Tabella 28 e Tabella 29) è utile per la determinazione della dose ottimale di azoto e dà chiare informazioni sulla proporzione dell'azoto apportato con la concimazione che non è assorbito dalla coltura e quindi a rischio di lisciviazione. L'efficienza di assorbimento dell'azoto naturalmente presente nel terreno (termine f_S dell'equazione di bilancio) è sperimentalmente stimata dai dati di assorbimento dell'azoto misurati in parcelle non concimate, ma questa stima è molto grossolana in quanto c'è una chiara interazione tra la dose di concimazione azotata, disponibilità di N nel terreno ed efficienza (in generale tutte le colture hanno una maggiore efficienza di assorbimento a basse dosi di concimazione) (Burns, 2006).

Tabella 28 Produzione di sostanza secca (t/ha), assorbimento di azoto (kg/ha) e prelievo apparente relativo di azoto (REC, %) di alcune orticole concimate con dose ottimale di azoto (D.J. Greenwood, comunicazione personale citata da Burns, 2006; modificato)

Coltura	Produzione s.s.	Assorbimento N	REC
	t/ha	kg/ha	%
Carota	10.7	193	49
Porro	13.7	268	35
Lattuga	2.0	53	7
Cipolla	5.1	120	28
Ravanello	1.0	35	14
Bietola da orto	11.3	298	34
Spinacio	1.7	87	11
Cavolo (estivo)	7.0	211	85
Rapa	7.7	309	54

Tabella 29 Dose di azoto ottimale per la massima produzione commerciabile (kg N/ha), assorbimento di N (kg N/ha) e prelievo apparente relativo (REC, %) in peperone, pomodoro da industria e lattuga (da Tei et al., 1999)

Specie	Cultivar	Dose ottimale di N (kg ha ⁻¹)	Assorbimento di N (kg ha ⁻¹)	REC
Peperone	Heldor	309	216	0.28
Pomodoro	Denaro	200	226	0.57
	PS1296	200	259	0.62
Lattuga	Canasta	158	136	0.43
	Audran	167	121	0.39

Al posto del prelievo apparente relativo, alcuni autori (Tremblay et al., 2003) hanno introdotto il concetto di margin di sicurezza (*safety margin*) cioè la quantità addizionale di azoto che deve essere presente nel terreno al fine di salvaguardare la

coltura da carenze di N che si potrebbero avere se è presente nel terreno solo la quantità di N richiesta per l'assorbimento. Infatti sotto la concentrazione critica di azoto nel terreno, rappresentata da questo "margine di sicurezza", l'efficienza della pianta nell'estrarre l'N dal terreno è diminuita e così l'adozione di un margine di sicurezza permette alla pianta di estrarre tutto l'azoto necessario alla crescita. Le colture che hanno apparato radicale superficiale con pochi peli radicali (es. cipolla e porro) sono inefficienti nell'estrarre N, così il margine di sicurezza deve essere relativamente grande; al contrario, colture con profondo e ampio apparato radicale e ciclo lungo richiedono soltanto piccoli margini di sicurezza (Tabella 30).

Tabella 30 N minerale richiesto nello strato esplorato dalle radici fino alla raccolta (margine di sicurezza = *safety margin*) per alcune orticole di pieno campo (da Tremblay et al., 2003)

Margine di Sicurezza (kg N/ha)		
< 30	30-60	60-90
carota (tardiva)	fagiolo	cavolo broccolo precoce
cavolo di Bruxelles	bietola	cavolfiore
cavolo tardivo	cavolo broccolo tardivo	porro
	cavolo cinese	cipolla
	cavolo cappuccio precoce	spinacio
	cavolo rapa	
	indivia	
	lattuga cappuccio	
	lattuga iceberg	
	radicchio	
	rucola	
	ravanello	
	sedano	

Metodi di stima dei fabbisogni di concimazione azotata delle colture.

I diversi metodi di stima della dose di concimazione (Tremblay et al., 2003; Burns, 2006; Lemaire, 2008; Agostini et al., 2010) possono essere classificati nei seguenti gruppi:

- metodi basati sull'esperienza;
- metodi basati sull'osservazione;
- metodi basati sui calcoli (tabelle, sistemi esperti, modelli);

- metodi basati sull'analisi del terreno;
- metodi basati sullo stato nutrizionale della coltura (analisi della pianta).

Metodi basati sull'esperienza

Molti produttori stimano la dose di concimazione in base alla loro precedente esperienza di campo o basandosi su suggerimenti tecnici di consulenti, Enti o altre istituzioni e adattano la dose consigliata al verificarsi di certe condizioni. Per esempio si può suggerire di impiegare dosi inferiori a quelle consigliate quando si verificano una o più delle seguenti condizioni: la coltura ha lasciato molti residui colturali; l'inverno precedente è stato mite e secco; è stata posticipata la data del trapianto o della semina; sono stati impiegati residui colturali freschi o letame prima del trapianto o della semina; è necessario limitare la concentrazione di nitrati nelle parti eduli dei vegetali; devono essere migliorate le caratteristiche qualitative degli ortaggi. L'impiego di dosi superiori a quelle consigliate dovrebbero, invece, essere adottate nei seguenti casi: l'inverno precedente è stato molto piovoso con rovesci violenti; in primavera si sono verificate piogge pesanti; le precipitazioni si sono protratte nel periodo estivo; è stata anticipata la data del trapianto o della semina; le foglie sono utili alla coltura (carote); è importante intensificare il colore verde delle foglie per soddisfare il gradimento dei consumatori.

Metodi basati sull'osservazione

Più che metodi di stima, sono sistemi di monitoraggio delle condizioni di nutrimento azotato della coltura in atto. Infatti si basano sull'osservazione e la rilevazione di dati che da questa provengono, consentendo di intervenire tempestivamente nei casi in cui se ne avvisa la necessità. La metodica più semplice è l'*osservazione del colore delle foglie*: infatti l'azoto è importante per il processo della fotosintesi, poiché costituente della clorofilla, per cui se le foglie si presentano di un colore verde intenso significa che la pianta è ben rifornita di azoto, se le foglie sono invece di un colore verde sbiadito significa che la pianta si trova in uno stato di carenza. Naturalmente le tonalità di verde variano in funzione della specie e della cultivar per cui sono di grande ausilio "cartelle colori" specifiche. La versione moderna (tecnologica, quantitativa e oggettiva) di questo metodo grossolano e soggettivo è la misurazione in campo della clorofilla con strumenti portatili (SPAD, vedi più avanti). Un'altra metodologia è quella della *parcella non fertilizzata*: in pratica, al momento della somministrazione della prima dose di azoto (40% circa del totale) alla coltura si lascia una porzione non concimata (parcella di controllo); le successive concimazioni saranno effettuate sulla base dello stato di salute delle piante cresciute nella parcella di controllo. Se queste ultime presentano un accrescimento simile al resto della coltivazione allora si distribuisce alla coltura solo il 10% della dose totale, altrimenti la percentuale aumenta in base al livello di sofferenza delle piante presenti nel controllo (Tabella 31). Una evoluzione del metodo precedente è quello di seminare nella parcella non concimata delle *piante indicatrici*: queste, generalmente, sono a rapido accrescimento, provviste di un sistema radicale profondo e dotate di elevata capacità di estrazione degli elementi dal terreno. In base al loro accrescimento, è possibile valutare la disponibilità di azoto alle diverse profondità del terreno: per esempio seminando il rafano dopo tre settimane dalla semina è possibile valutare il contenuto di azoto nel terreno nei primi 30 cm di profondità, dopo cinque settimane nei primi 60 cm e dopo sette settimane nei primi 90 cm (Tremblay et al., 2003).

Tabella 31 Metodo della parcella non concimata: % della dose totale di azoto da distribuire in copertura in funzione del colore e dell'accrescimento della coltura nella parcella non concimata in confronto a quelli del resto del campo concimato all'inizio del ciclo colturale con il 40% circa della dose consigliata (da Tremblay et al., 2003)

Colore delle foglie e accrescimento nelle piante del controllo non concimato	Azoto da somministrare alla coltura (% della dose totale)
Accrescimento simile alla coltura concimata	10
Colore sensibilmente sbiadito sviluppo sensibilmente ridotto	20- 30
Colore sbiadito – piante poco sviluppate	30-40
Foglie gialle e piccole	40-60

Metodi basati sui calcoli

L'elaborazione e l'adozione di *tabelle* è largamente utilizzata in tutto il mondo e la loro complessità varia in relazione alle informazioni richieste (precessione colturale, tessitura del terreno, piovosità) per poter stimare adeguatamente la presumibile dotazione di azoto a inizio ciclo e durante le fasi successive e la conseguente dose di concimazione. Il vantaggio di questo metodo è che è semplice e può valorizzare le preziose informazioni provenienti da prove agronomiche poliennali condotte su una ampio ventaglio di condizioni pedo-climatiche, ma purtroppo analisi recenti dimostrano che questo approccio non sempre è affidabile come altri metodi che misurano direttamente l'azoto minerale presente nel terreno a inizio ciclo (Burns, 2006). Oggigiorno, validi strumenti nella valutazione dei diversi destini dell'azoto nel sistema "suolo-pianta-atmosfera" sono i modelli di simulazione computerizzati e i sistemi esperti. I *modelli previsionali* (di simulazione) modellizzano il fenomeno in maniera diversa in base alla loro struttura ma in generale richiedono un considerevole numero di input e di dati che al momento ne limitano l'uso finalizzato alla ricerca o alla didattica (Le Bot et al., 1998); i sistemi esperti (DSS, *Decision Support Systems*) sono dei programmi semplici e di facile uso che elaborano i valori medi inseriti dall'utente per dare una risposta pratica e impiegabile da tecnici ed agricoltori (Rahn et al., 1996; Fink and Scharpf 1992; Battilani et al., 2003).

Metodi basati sull'analisi del terreno

Le analisi del terreno permettono di stimare la quantità di azoto minerale disponibile nelle diverse profondità del terreno durante il ciclo colturale e dare indicazioni sulla dose di concimazione da apportare in funzione dei fabbisogni colturali. I metodi che sono stati oggetto di sperimentazioni più approfondite e che sono più frequentemente applicati nella pratica sono il metodo *Nmin* (Wehrmann and Scharpf, 1986) ed il metodo *KNS* (*Kulturbegleitende Nmin Sollwerte*) (Lorenz et al., 1989). Nel metodo *Nmin* la concentrazione di N minerale (*Nmin*) è determinata da un campione di terreno prelevato a inizio ciclo (prima della semina o del trapianto) ad una profondità variabile con la coltura (Tabella 32); questa concentrazione è sottratta ad un valore di riferimento del fabbisogno di N della coltura (Tabella 32) per dare la

dose di concimazione necessaria (dose N = fabbisogno N coltura – Nmin a inizio ciclo). Il metodo ha alcune premesse e conseguenze: la profondità di campionamento in generale corrisponde alla profondità di radicazione (Tabella 33); maggiore è il contenuto di N del terreno minore è la dose di concimazione che deve essere applicata; per ogni coltura è previsto uno specifico fabbisogno di azoto (*target level*) per avere crescita e produzioni massime; il metodo non prende in considerazione l'azoto rilasciato per mineralizzazione durante il ciclo.

Tabella 32 Metodo Nmin: valori di riferimento della produzione attesa, del fabbisogno di azoto e profondità di campionamento per la misura dell'azoto minerale a inizio ciclo in diverse colture orticole (da Feller e Fink, 2002)

Coltura	Produzione attesa (t/ha)	Fabbisogno azoto (kgN/ha)	Profondità campionamento (cm)
Asparago (1 anno)	12	90	60
Carota	70	100	60
Cavolo broccol	20	310	60
Cavolo di Bruxelles	25	300	90
Cavolo precoce	40	240	60
Cavolo tardivo	80	300	90
Cavolfiore	40	300	60
Cicoria	45	90	90
Cipolla	60	120	60
Fagiolo	12	110	60
Indivia	60	190	60
Lattuga iceberg	60	140	30
Patata	60	250	60
Radicchio	28	140	60
Sedano	50	180	60
Spinacio	30	180	30

Tabella 33 Profondità radicale di alcune colture orticole (Scharpf, 1991 a)

Profondità radicale (cm)		
0 - 30	30 – 60	60 - 90
lattuga	fagiolo	asparago
pisello	cavolo broccolo	cavolo di Bruxelles
ravanello	cavolo cappuccio precoce	cavolo cappuccio tardivo
spinacio	cavolfiore	cereali vernini
cavolo rapa	sedano	mais
	endivia	rapa
	porro	

Il *metodo KNS* è un'evoluzione del metodo precedente in quanto anziché avere un unico valore di riferimento (fabbisogno totale della coltura) usa valori riferiti alle diverse fasi del ciclo colturale. Questo metodo offre i seguenti vantaggi: la data di campionamento può essere flessibile; dato che i dati possono essere presi durante l'intera stagione si possono alleggerire i picchi di lavoro dei laboratori (spesso intasati nel periodo precedente l'impianto); si possono ottenere informazioni sulla mineralizzazione della sostanza organica (velocità, quantità).

Oggi a livello aziendale, anziché le analisi ufficiali di laboratorio, lunghe e costose, si applicano sempre più frequentemente metodi rapidi di analisi del terreno per la misurazione della concentrazione di nitrati mediante strumentazioni di uso facile ed economico (*quick test*), come riflettometri (es. Nitrachek 404, KPG Product Ltd, UK) e sensori ione-specifici (Cardy, Spectrum Technologies, Inc., IL, USA). Alcune di queste strumentazioni hanno kit di misurazione anche di fosforo e potassio.

Metodi basati sullo stato nutrizionale della coltura (analisi della pianta)

Come già descritto in precedenza, la determinazione della concentrazione di elementi nutritivi nella pianta (Hochmuth et al., 2009) permette, in comparazione con valori di riferimento (Tabella 17 Tabella 18 Tabella 19) di valutare lo stato nutrizionale delle colture (stato di carenza, ottimale, consumo di lusso) e dare indicazioni sugli interventi di concimazione durante il ciclo colturale nelle diverse fasi fenologiche. Oltre alle analisi di laboratorio (che normalmente prevedono il prelievo di apposti campioni di tutta la pianta o di una sua porzione, essiccamento in stufa e successiva analisi), i metodi rapidi da adottare direttamente in campo o in azienda si dividono essenzialmente in due gruppi: distruttivi e non distruttivi. I metodi distruttivi prevedono il prelievo di un campione opportuno (variabile in funzione della specie e della fase fenologica), estrazione della linfa fogliare (*sap test*) secondo una metodica precisa, determinazione della concentrazione dei nitrati (o di altri elementi nutritivi) con gli stessi strumenti descritti per le analisi del terreno (Nitrachek, Cardy Meter), confronto con valori di riferimento (Tabella 34 e Tabella 35) e successiva

elaborazione di piani di concimazione. I metodi non distruttivi sono, invece, basati su misurazioni del contenuto di clorofilla della foglia come indice di nutrizione azotata (Westerveld et al., 2003) con spettrofotometri portatili (SPAD-502, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan). I valori di SPAD registrati sono valori relativi che devono essere opportunamente correlati con lo stato nutritivo della pianta o con le produzioni ottenibili mediante la determinazione di opportune curve di taratura (si veda ad esempio Gianquinto et al., 2003, 2006). Purtroppo l'attendibilità delle misurazione con lo SPAD non è sempre buona (Sexton e Carroll, 2002; Hartz, 2003; Farneselli et al., 2010) a causa della frequente invarianza della concentrazione di azoto specifica delle foglie nella parte superiore della coltre vegetale (zona di campionamento), al fatto che le molecole di clorofilla rappresentano solo il 2% della concentrazione totale della foglia (Lawlor et al., 1997) e che l'assorbimento della foglia può essere influenzata da altri fattori ambientali (es. stress idrico, regime radiativo, avversità biotiche).

Tabella 34 Concentrazione critica di nitrati nella linfa fogliare in funzione dello stadio della coltura in alcune orticole. (Scaife e Turner, 1984) – continua-

Coltura	Peso pianta (g)	Altezza pianta (cm)	Larghezza foglie (cm)	Numero di foglie con lunghezza > 1 cm	Concentrazione critica di NO ₃ ppm	Concimazione azotata in caso di carenza (kg/ha)
Cavolo di Bruxelles	0-750	0-55	n.a	0-36	11.000	150
	750-1250	n.a	n.a	36-50	7.000	100
	1250-1500	n.a	n.a	50-55	2.000	50
	> 1550	n.a	n.a	> 55	0	-
Lattuga	0-10	n.a	0-13	0-7	7.000	100
	10-75	n.a	13-21	7-12	3.000	50
	75-200	n.a	n.a	12-18	2.000	50
	> 200	n.a	n.a	> 18	500	50
Carota	0-1	0-10	n.a	0-3	1.000	50
	1-10	10-30	n.a	3-10	100	25
	> 10	>30	n.a	> 10	0	-
Spinacio	0-5	n.a	0-10	0-5	11.000	100
	5-20	n.a	n.a	5-10	6.000	50
	> 20	n.a	n.a	> 10	2.500	-

Coltura	Peso pianta (g)	Altezza pianta (cm)	Larghezza foglie (cm)	Numero di foglie con lunghezza > 1 cm	Concentrazione critica di NO ₃ ppm	Concimazione azotata in caso di carenza (kg/ha)
Cipolla	0-1	0-20	n.a	0-3	2.000	150
	1-20	20-50	n.a	3-7	60	100
	> 20	> 50	n.a	>7	0	-
Porro	0-1	0-24	n.a	0-3	2.000	150
	1-8	24-43	n.a	3-4	1.000	100
	> 8	> 43	n.a	> 4	300	50

Tabella 35 Concentrazione critica di nitrati e di potassio nella linfa fogliare in funzione dello stadio della coltura in alcune orticole solanacee (Olson et al., 2008) –continua-

Coltura	Stadio	Concentrazione critica di NO ₃ (ppm)	Concentrazione critica di K (ppm)
melanzana	1 ^a bacca (lunga 5 cm)	1200	4500
	1 ^a raccolta	1000	4000
	metà raccolte	800	3500
peperone	1 ⁱ bottoni fiorali	1400	3200
	1 ⁱ fiori aperti	1400	3000
	bacche a metà crescita	1200	3000
	1° raccolta	800	2400
	2° raccolta	500	2000

Coltura	Stadio	Concentrazione critica di NO ₃ (ppm)	Concentrazione critica di K (ppm)
pomodoro	1 ^e gemme fiorali	1000	3500
	1 ⁱ fiori aperti	600	3500
	bacche diam. 2.5 cm	400	3000
	bacche diam. 5 cm	400	3000
	1 ^a raccolta	300	2500
	2 ^a raccolta	200	2000
patata	pianta alta 20 cm	1200	4500
	1 ⁱ fiori aperti	1000	4500
	50% fiori aperti	1000	4000
	100% fiori aperti	900	3500
	senescenza foglie	600	2500

Opzioni agronomiche per l'ottimizzazione della fertilizzazione azotata

A parità di fabbisogni nutrizionali la fertilizzazione azotata può, perciò essere ottimizzata, (Agostini et al., 2010):

1. calcolando o stimando al meglio i fabbisogni durante il ciclo e, di conseguenza, la dose e l'epoca di concimazione;
2. aumentando l'efficienza dei fertilizzanti applicati mediante: a) una concimazione "starter" cioè la localizzazione all'impianto (sotto il seme o la piantina) di un concime complesso fosfo-ammoniacale che stimola una più rapida e maggiore crescita radicale durante le prime fasi del ciclo (Costigan, 1988); b) l'adozione della concimazione a bande o della fertirrigazione che permettono la sincronizzazione tra l'apporto di nutrienti ed i fabbisogni della pianta (Battilani, 2001); c) l'uso di fertilizzanti a lento rilascio o a rilascio controllato (Prasad et al., 2004) che danno vantaggi simili alla localizzazione frazionata; d) la consociazione di specie con caratteristiche morfologiche ed eco-fisiologiche diverse (Baumann et al., 2003); e) la selezione e l'impianto di cultivar ad elevata efficienza di assorbimento (Schenk, 2006);
3. impiantando colture di copertura (*catch crops*) al fine di assorbire l'azoto lasciato nel terreno a fine ciclo e quindi a rischio lisciviazione (Thorup-Kristensen et al., 2003).

Ottimizzazione della fertilizzazione fosfatica

La concentrazione critica del fosforo nelle diverse colture orticole è riportata in Tabella 17. Considerando la scarsa mobilità del fosforo nel terreno, generalmente la dose da somministrare è determinata in funzione della dotazione del terreno in fosforo assimilabile e dei livelli di asportazione della coltura (Tabella 36 e

Tabella 26). La dotazione di fosforo assimilabile del terreno può, comunque, ritenersi normale quando soddisfa le esigenze di tutte le colture della rotazione, a cominciare da quelle più esigenti (Tabella 25 e

Tabella 26).

Data la scarsa mobilità di questo elemento è bene interrare tutta la dose prevista con la lavorazione principale per portarlo nello strato di terreno interessato dalla massa delle radici. Si ricorda la sua importanza nella concimazione starter.

Tabella 36 Valutazione ⁽¹⁾ del fosforo assimilabile del terreno (metodo Olsen) e indicazioni per la concimazione

Espressione della dotazione		Valutazione agronomica (livello)
Fosforo (P) (ppm)	Anidride fosforica (P ₂ O ₅) (ppm)	
0-6	0-15	Molto basso
7-12	16-30	Basso
13-20	31-45	Medio
21-30	46-70	Alto
-	>70	Molto alto

Indicazioni per la concimazione

Livello molto basso. La risposta al fosforo è certa per tutte le colture. E' consigliata una *concimazione di arricchimento*, con dosi variabili da 2 a 2,5 volte gli asporti della coltura. Le concimazioni di arricchimento debbono proseguire fino a quando non si raggiunge il livello di sufficienza per tutte le colture della rotazione.

Livello basso. La risposta al fosforo è probabile per tutte le colture. La concimazione consigliata è quella di arricchimento; le dosi da apportare variano da 1,5 a 2 volte gli asporti della coltura.

Livello medio. La risposta al fosforo è meno probabile. E' consigliata una *concimazione di mantenimento*: debbono essere reintegrati gli asporti della coltura con eventuali maggiorazioni (fino a 1,5 volte gli asporti) per tenere conto della frazione di fosforo assimilabile che, più o meno in tutti i terreni, va incontro a retrogradazione per la presenza di calcare o per pH <5,5.

Livello alto. La risposta al fosforo non è in genere probabile; tuttavia è suggerito un moderato apporto di fosforo per le colture esigenti per questo elemento. Le dosi da apportare variano da 0,5 a 1 volta gli asporti della coltura.

Livello molto alto. La risposta al fosforo è assai improbabile, pertanto si consiglia di non fertilizzare.

⁽¹⁾I valori inferiori dell'intervallo si riferiscono a terreni sabbiosi, quelli più alti a suoli argillosi; per terreni di medio impasto si assumono valori intermedi

Ottimizzazione della fertilizzazione potassica

Ai fini della valutazione dello stato nutrizionale delle colture, in Tabella 17 si riporta la concentrazione critica di potassio nei tessuti vegetali delle principali orticole, mentre in Tabella 35 la concentrazione critica di potassio nella linfa fogliare (*sap test*) delle più importanti solanacee. Come per il fosforo, le dosi di potassio da apportare sono

calcolate tenendo conto della dotazione del terreno in potassio scambiabile, della valutazione agronomica dei valori ottenuti con l'analisi chimica e dei livelli di asportazione delle colture (Tabella 37 e

Tabella 26).

Tabella 37 Valutazione ⁽¹⁾ del potassio scambiabile del terreno (metodo internazionale) e indicazioni per la concimazione

Espressione della dotazione			Valutazione agronomica (livello)
Ossido di potassio K ₂ O (ppm)	Potassio (K) (ppm)	Potassio (K) (%CSC)	
0-60	0-50	-	Molto basso
61-120	51-100	<2% CSC	Basso
121-180	101-150	2-5% CSC	Medio
181-240	151-200	>5% CSC	Alto
>240	>200	-	Molto alto

Indicazioni per la concimazione

Livello molto basso. La risposta al potassio è certa per tutte le colture. E' consigliata la *concimazione di arricchimento* con dosi da 1,1 a 1,5 volte gli asporti della coltura.

Livello basso. La risposta al potassio è probabile per molte colture. E' consigliata la *concimazione di arricchimento* con dosi da 0,8 a 1,1 volte gli asporti della coltura.

Livello medio. La risposta al potassio è , in genere, poco probabile; lo è di più per le colture esigenti. E' consigliata la *concimazione di mantenimento* con dosi da 0,5 a 0,8 volte gli asporti della coltura.

Livello alto. La risposta al potassio non è, in genere, probabile: è consigliabile non concimare. Il potassio potrebbe essere necessario per colture esigenti e capaci di elevate produzioni; le dosi non dovrebbero superare 0,5 volte gli asporti della coltura.

Livello molto alto. La risposta al potassio è assai improbabile; si consiglia di non fertilizzare.

⁽¹⁾ valori inferiori dell'intervallo si riferiscono a terreni sabbiosi, quelli più alti a suoli argillosi; per terreni di medio impasto si assumono valori intermedi

Ottimizzazione della fertilizzazione con microelementi

Nel caso in cui la coltura sia carente in micronutrienti, come da sintomi visibili (Tabella 16 Figura 23) o da analisi della concentrazione degli elementi nella pianta (Tabella 18) si può intervenire con una concimazione mirata.

Le colture variano, però, nella loro risposta alle concimazioni con i micronutrienti (Tabella 38): le colture con elevata reattività rispondono alla fertilizzazione addizionale con microelementi se la loro concentrazione nel terreno è bassa; le colture mediamente reattive rispondono con meno probabilità e quelle poco sensibili generalmente non rispondono anche se la concentrazione di microelementi nel terreno è bassa.

Il tipo, il metodo e le dosi indicative di applicazione dei concimi per la correzione di stati di carenza nutrizionale delle colture orticole sono riportati in

Tabella 39.

Tabella 38 Risposta delle colture alla fertilizzazione con microelementi (da Vitosh et al., 1994)

Coltura	Mn	B	Cu	Zn	Mo	Fe
asparago	bassa	bassa	bassa	bassa	bassa	media
bietola	alta	alta	alta	media	alta	alta
broccoli	media	alta	media		alta	alta
carota	media	media	media	bassa	bassa	
cavolfiore	media	alta	media		alta	alta
cavolo	media	media	media	bassa	media	media
cetriolo	alta	bassa	media			
cipolla	alta	bassa	alta	alta	alta	
fagiolo	alta	bassa	bassa	alta	media	alta
lattuga	alta	media	alta	media	alta	
patata	alta	bassa	bassa	media	bassa	
peperone	media	bassa	bassa		media	
pisello	alta	bassa	bassa		media	
pomodoro	media	media	alta	media	media	alta
ravanello	alta	media	media	media	media	
sedano	media	alta	media		bassa	
spinacio	alta	media	alta	alta	alta	alta

Tabella 39 Tipo, metodo e dose indicativa di applicazione dei concimi per la correzione di stati di carenza nutrizionale delle colture orticole (da Hochmuth et al., 2009; modificato)

Nutriente	Tipo di concime	Metodo di applicazione consigliato ⁽¹⁾	Dose indicativa (kg/ha)
Azoto (N)	nitrate ammonico	C, B, FI	35 - 45
	nitrate di calcio	C, B, FI	35 - 45
Fosforo (P ₂ O ₅)	fosfato di ammonio	C, B, FI	20 - 25
	superfosfato triplo	C, B	20 - 25
	acido fosforico	B, FI	20 - 25
Potassio (K ₂ O)	cloruro di potassio	C, B, FI	35 - 45
	nitrate di potassio	C, B, FI	35 - 45
Calcio (Ca)	nitrate di calcio	C, B, FI	35 - 45
	cloruro di calcio	FI	35 - 45
Magnesio (Mg)	solfoato di magnesio	C, B, FI, F	20 - 25
	nitrate di magnesio	FI	20 - 25
	solfoato di magnesio e potassio	C, B	10 - 15
Boro (B)	perborato di sodio, concimi a base di boro	FI, F	0.1 – 0.25
Rame (Cu)	solfoato di rame	FI, F	0.1 – 0.25
Ferro (Fe)	solfoato ferroso, ferro chelato	FI, F	0.25 – 0.5
Manganese (Mn)	solfoato di manganese	FI, F	0.5 – 1.2
Molibdeno (Mo)	sodio molibdato	FI, F	0.01 – 0.06
Zinco (Zn)	solfoato di zinco, zinco chelato	FI, F	0.1 – 0.25

⁽¹⁾ C = copertura a tutto campo; B = localizzata in banda; FI = fertirrigazione; F = applicazione fogliare

Il controllo dell'irrigazione

A. Pardossi*

Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie – Università di Pisa, Viale delle Piagge, 23 – 56124, Pisa Italy *alberto.pardossi@agr.unipi.it

Introduzione

L'irrigazione è la pratica agronomica che più influenza la produzione e la qualità delle colture agrarie, in particolare nel caso di colture – in campo o in serra – destinate alla raccolta di prodotti freschi come gli ortaggi e i fiori recisi. L'acqua è il costituente principale dei tessuti vegetali ed è necessaria per la crescita dei vari organi della pianta. Nelle piante, però, gran parte dell'acqua assorbita dalle radici si perde sotto forma di vapore nel processo di traspirazione fogliare. In effetti, dell'acqua consumata da una pianta, solo il 5-10% è utilizzato per l'accrescimento.

La carenza idrica determina una riduzione della produzione e un peggioramento della qualità dei prodotti in misura variabile secondo la specie e la fase del ciclo colturale (Tabella 40). Per contro un'eccessiva disponibilità di acqua provoca normalmente un ristagno idrico nel terreno e/o un'eccessiva idratazione delle piante, condizioni favorevoli all'insorgenza di numerose malattie, soprattutto delle radici e del colletto. Gli squilibri idrici, infine, sono all'origine di diversi disordini fisiologici, come ad esempio il marciume apicale dei frutti di pomodoro o di peperone.

Tabella 40 Sensibilità allo stress idrico di alcune ortive

Colture	Sensibilità	Fase di maggiore sensibilità	Limite minimo dell'umidità del terreno	
			Contenuto idrico (% volume)	Tensione di umidità (kPa)
Solanacee	Media	Fioritura-allegagione	0,35	40-50
Cucurbitacee	Medio-bassa	Fioritura-allegagione	0,45	45-60
Brassicacee	Medio-alta	Formazione testa	0,50	25-40
Lattughe	Alta	Formazione testa	0,30	30-35

In serra, i volumi irrigui stagionali oscillano tra 5.000 e 10.000 m³/ha, nel caso ad esempio di colture vigorose come pomodoro e cetriolo condotte per l'intero anno o in idroponica (a ciclo aperto). Nella pianificazione irrigua di un'azienda è cruciale, quindi, valutare la disponibilità di acqua, oltre alla sua qualità, considerando l'influenza che le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua irrigua hanno sulla produzione e qualità degli ortaggi.

Le attività di ricerca, sviluppo e trasferimento tecnologico nel settore dell'irrigazione sono finalizzate a ridurre gli sprechi di acqua che spesso caratterizzano le colture intensive. La tendenza alla sovra-irrigazione è sicuramente diffusa nelle serre

commerciali ed è responsabile della lisciviazione dei fertilizzanti con i suoi inevitabili effetti ambientali (inquinamento delle falde idriche, ad esempio con nitrati e fosfati).

Uno studio pubblicato alcuni anni fa (Thompson et al., 2007) ha evidenziato come la gestione non razionale dell'irrigazione sia uno dei fattori maggiormente responsabili dell'inquinamento delle falde idriche da parte dei nitrati nell'area serricola di Almeria, attualmente la più importante (almeno per superficie coperta) in Europa.

Il pilotaggio dell'irrigazione

Razionalizzare l'irrigazione o, in altre parole, aumentarne l'efficienza significa fornire alla coltura l'acqua sufficiente per ottenere la massima produzione quanti-qualitativa possibile minimizzando le perdite per percolazione e ruscellamento (runoff). Regimare l'irrigazione comprende la definizione sia della frequenza sia del volume irriguo (o d'adacquamento, VA, come si legge spesso nei testi di agronomia).

Nel settore ortoflorovivaismo, sia in serra sia in campo, il criterio normalmente seguito per stabilire quando è necessario irrigare è il contenuto idrico (o la tensione d'umidità) del terreno con l'obiettivo di massimizzare le rese e ottenere la miglior qualità. In altre colture, come ad esempio i cereali, non necessariamente è questo l'obiettivo e la decisione se irrigare o no è spesso basata sul rapporto costo/benefici: in altre parole, potrebbe non essere conveniente irrigare, quando ad esempio l'incremento di produzione atteso è in termini monetari inferiore alle spese (per manodopera, energia, acqua) della stessa irrigazione.

Quindi, nella serricoltura l'irrigazione è finalizzata a mantenere il contenuto idrico del terreno (o del substrato) tra un livello critico e quello corrispondente alla capacità idrica di campo (o di contenitore, nel caso appunto di colture su substrato; CC) o leggermente più basso, in modo da minimizzare le perdite per percolazione (la quantità in eccesso rispetto alla CC) e/o migliorare la qualità delle produzioni, come ad esempio si fa per alcuni ortaggi da frutto in campo.

I metodi più diffusi per il controllo dell'irrigazione prevedono la determinazione del bilancio idrico della coltura basata sulla determinazione dell'evapotraspirazione della coltura o sulla misura diretta dell'umidità del terreno attraverso opportuni sensori (Figura 24). Nel caso delle colture fuori suolo, si possono adottare altri criteri come ad esempio la salinità della soluzione nutritiva all'interno del o drenata dal substrato (Incrocci et al., 2010); oppure usare dei microlisimetri a pesata (bilance elettroniche) interfacciate alle centraline irrigue.

I progressi scientifici nel campo della biofisica e dell'elettronica hanno recentemente consentito lo sviluppo di metodi innovative basati sulla misura diretta di parametri fisiologici della pianta (*speaking plant*) quali lo stato idrico fogliare (stimato attraverso la misura diretta o indiretta del turgore fogliare), o del flusso idrico all'interno dei fusti. La trattazione di questi metodi va oltre gli scopi di questo capitolo e rimandiamo il lettore al review di Jones (2004). Secondo questo autore, comunque, non sono ancora sufficientemente affidabili per una larga applicazione su scala ambientale.



Figura 24 Due esempi di sensori per la determinazione dell'umidità del terreno o del substrato: un micro tensiometro (a sinistra) ed un sensore dielettrico

Metodo del bilancio idrico

Il metodo prevede la determinazione di una serie di parametri legati alle caratteristiche della coltura, del terreno e dell'impianto irriguo utilizzato e alle condizioni climatiche nella zona e nel periodo considerato.

Il VA dipende, di fatto, dalle caratteristiche idrologiche del terreno e dalla risposta della coltura al contenuto idrico del terreno, mentre la frequenza dipende dalle esigenze idriche della coltura, che costituiscono essenzialmente l'acqua traspirata dalle piante coltivate nonché dalle altre eventualmente presenti (come le infestanti) e da quella che evapora direttamente dal terreno.

Il fabbisogno idrico di una coltura coincide in pratica con l'evapotraspirazione effettiva (*ETE*) della coltura. L'*ETE* dipende da fattori di varia natura: biologici (tipo di pianta e sua fase di sviluppo), agronomici (densità e tecnica colturale), climatici (radiazione solare, temperatura e umidità relativa dell'aria, vento) e pedologici (cioè, legati al suolo: contenuto di acqua, di sali e arieggiamento del terreno). L'*ETE* va riferita ad un'unità di tempo e quindi può essere definita su base mensile e più frequentemente su base settimanale, giornaliera o addirittura oraria (ad esempio nelle colture fuori suolo in serra).

Per stimare *ETE* si determina inizialmente la cosiddetta evapotraspirazione potenziale o di riferimento (*ETP*), riferita ad una coltura standard costituita da un prato di estesa superficie in fase attiva di accrescimento, senza particolari problemi fitopatologici, adeguatamente rifornita di acqua e ben concimata. La *ETP* può essere stimata anche sulla base dell'acqua evaporata da una vasca di dimensioni standard (evaporimetro), oppure attraverso più o meno complesse formule matematiche che tengono conto dei parametri ambientali. Moltiplicando *ETP* di una determinata zona per il coefficiente colturale (*Kc*), specifico per il tipo di coltura e per la fase del ciclo della pianta, si può stimare l'*ETE*. In piena aria, i fabbisogni irrigui derivano dal deficit fra *ETE* e gli apporti naturali, costituiti dalle piogge utili, dalla risalita capillare dalle falde superficiali e dalle riserve idriche del terreno (per questo è chiamato "metodo del bilancio idrico"). Gli apporti naturali sono ovviamente assenti o considerati trascurabili nel caso delle colture di serra.

In molte regioni italiane esistono servizi di assistenza all'irrigazione (SAI) che tramite apposite stazioni meteorologiche dislocate nelle diverse zone del territorio rilevano i parametri necessari per stimare l'*ETP*, l'*ETE* e i fabbisogni irrigui (*VA*, *TI*) delle colture della zona di riferimento (es. ARSIA della Regione Toscana; www.arsia.toscana.it). Le aziende possono interagire con le SAI per via telematica e ricevere, anche tramite "messaggi sms" sul telefonino, informazioni su quando irrigare e quanta acqua somministrare. Tuttavia, quasi sempre questi servizi di assistenza sono limitati alle colture di pieno campo.

Il *VA* è espresso per unità di superficie: m^3/ha , L/m^2 o, come si usa per la pioggia, in "mm" di altezza. Si ricorda che: $1\text{ mm} = 1\text{ L}/m^2 = 10\text{ m}^3/ha$.

Il *VA* è definito in base alle caratteristiche del terreno, soprattutto alla tessitura:

capacità di campo (*CC*) è la quantità di acqua trattenuta dal terreno dopo che l'acqua è percolata liberamente per effetto della gravità (l'acqua d'imbibizione capillare) e che occupa i cosiddetti micropori;

punto di appassimento permanente (*PA*) è il contenuto di acqua nel suolo sotto il quale la maggior parte delle piante non è più in grado di assorbire l'acqua in quantità sufficiente e, appunto, appassisce;

acqua disponibile (*AD*) è la quantità di acqua compresa fra la *CC* e il *PA*.

Le costanti idrologiche sono generalmente espresse in termini percentuali riferiti al peso; per la valutazione in termini di volume è necessario moltiplicare la percentuale in peso per la densità apparente (*DA*) del terreno, che assume valori compresi fra $1,20\text{ kg/L}$ (terreni argillosi) e $1,60\text{ kg/L}$ (terreni sabbiosi).

In realtà, nelle colture agrarie, in particolare in quelle ortive, si è identificato un limite del contenuto idrico del terreno più elevato rispetto al *PA*: il critico colturale (*PCC*) e la quantità d'acqua contenuta fra questo punto e la capacità di campo viene indicata con il termine di acqua facilmente utilizzabile (*AFU*). In genere, il *PCC* si esprime come percentuale di *AD*. Ad esempio, se per una coltura con radici che si sviluppano soprattutto negli strati superficiali e quindi molto sensibile allo stress idrico, il *PCC* consigliato è pari 75% di *AD* e quindi l'*AFU* corrisponde solo al 25% di *AD*. Allo stesso modo, se per una coltura più resistente allo stress idrico si suggerisce un *PCC* del 30%; l'*AFU* sarà pertanto pari al 70% di *AD*. In una corretta tecnica irrigua, quando il contenuto d'umidità del suolo raggiunge il *PCC* occorre irrigare, in modo da ripristinare la *CC*. Il volume d'acqua per unità di superficie necessario a riportare alla *CC* tutto lo strato di terreno interessato dalle radici corrisponde all'*AFU* e definisce il volume di adacquamento netto (VA_{netto}). La Tabella 41 riporta i valori di *AFU* per alcuni tipi di terreno e per gruppi di specie differenziate per il *PCC* e l'approfondimento radicale (*PR*).

Il *VA* effettivo (o lordo) è in genere più alto di VA_{netto} , in quanto dobbiamo tener conto: dell'efficienza e dell'uniformità di distribuzione dell'impianto di irrigazione; del grado di eterogeneità delle piante in termini di esigenze idriche, che sono influenzate dalla taglia, dallo sviluppo fogliare, dalla posizione all'interno della serra (ad es., le piante più vicine alle aperture laterali mostrano spesso maggiori consumi idrici di quelle collocate più all'interno, a parità di superficie fogliare); del fabbisogno di

lisciviazione, funzione della salinità dell'acqua irrigua e della resistenza allo stress salino della coltura).

Tabella 41 Valori della riserva idrica facilmente utilizzabile (*AFU*) nello strato del terreno esplorato dalle radici della coltura in funzione della specie e del tipo di terreno. Il valore di *AFU* corrisponde generalmente al volume di adacquamento netto (VA_{NETTO}).¹

⁽¹⁾*PR*, profondità radicale; *DA*, densità apparente; *AD*, acqua disponibile; *PPC*, punto critico colturale

			Tipo di terreno			
			Sabbioso	Medio-impasto	Limo-argilloso	Argilloso
			<i>DA</i> (kg/dm ³)	1,60	1,40	1,25
		<i>AD</i> (%)	5	10	15	18
Coltura/e	<i>PR</i> (m)	<i>PPC</i> (%)	<i>(AFU, mm)</i>			
Solanacee	0,60	65	16,8	29,4	39,4	45,4
Brassicacee	0,40	55	14,4	25,2	33,8	38,9
Cucurbitacee	0,70	50	28,0	49,0	65,6	7,6
Lattughe	0,30	70	7,2	12,6	16,9	19,4
Mais	0,70	50	28,0	49,0	65,6	75,6
Agrumi	1,00	50	40,0	70,0	93,8	108,0

Questi parametri concorrono a determinare un coefficiente di sicurezza (K_S), che di fatto definisce il surplus di acqua da fornire alla coltura. Valori ragionevoli del K_S sono compresi tra 1.1 e 1.5.

Calcolato il *VA* come prodotto di $VA_{netto} \times K_S$, si può determinare il turno irriguo (*TI*; L/m² per giorno o per ora) in base a *ETE*: $TI = VA_{netto}/ETE$.

La durata dell'irrigazione (*D*; in minuti o in ore) è calcolata in base a *VA* e all'intensità di applicazione (*IA*), quest'ultima è determinata in funzione della portata degli erogatori (*Q*) e dell'area media bagnata da questi ultimi (*A*).

In Tabella 42 si riporta un esempio di calcolo del regime irriguo per una coltura a terra.

Nel caso di colture in contenitore il VA_{netto} è pari, in genere, al contenuto di acqua facilmente disponibile, che è funzione delle caratteristiche idrologiche del substrato (curva di ritenzione idrica) e la geometria del contenitore (Pardossi et al., 2004). Il VA_{lorido} è calcolato in base al K_S è, nel caso di dispositivi automatici, l'irrigazione è attivata ogni volta che l'ETE della coltura, determinata in base ai parametri climatici (spesso, solo in base alla radiazione interna o esterna alla serra) è pari al VA_{netto} . Quando si usano semplici temporizzatori, occorre comunque avere una stima dell'ETE giornaliera, che sarà divisa per VA_{netto} per stabilire il numero giornaliero di irrigazioni; a parte un intervento intorno all'alba (ed eventualmente un altro al

tramonto), gli interventi si concentrano, indicativamente, tra le 10.00 e le 16.00 in autunno-inverno e tra le 9 e le 18.00 nelle stagioni più calde.

Tabella 42 Contenuto di acqua e di aria alla cosiddetta capacità idrica di contenitore, e contenuto di acqua disponibile (AD) per alcuni tipi di vaso in funzione del substrato impiegato e delle dimensioni del vaso stesso (v. Tabella). I valori sono stati determinati con il foglio di calcolo SUBIDRO (Bibbiani e Pardossi, 2004)

Diametro (cm)		12		15		18		22	
Volume Vt (mL)		980		1,603		2,896		7,278	
Altezza (cm)		12,0		12,5		15,5		22,0	
		ml	% Vt	ml	% Vt	ml	% Vt	ml	% Vt
Torba	Acqua	678	(69)	1,102	(69)	1,937	(67)	4,678	(64)
	Aria	204	(21)	340	(21)	670	(23)	1,873	(26)
	AD	255	(26)	414	(26)	720	(25)	1,684	(23)
Torba:pomice (1:1)	Acqua	616	(63)	1,001	(62)	1,765	(61)	4,308	(59)
	Aria	188	(19)	313	(20)	610	(21)	1,661	(23)
	AD	159	(16)	258	(16)	454	(16)	1,083	(15)
Pomice	Acqua	452	(46)	733	(46)	1,286	(44)	3,138	(43)
	Aria	352	(36)	581	(36)	1,090	(38)	2,830	(39)
	AD	66	(7)	107	(7)	192	(7)	293	(4)
Perlite	Acqua	520	(53)	842	(53)	1,448	(50)	3,465	(48)
	Aria	284	(29)	473	(30)	927	(32)	2,503	(34)
	Acqua	106	(11)	173	(11)	305	(11)	731	(10)
Torba:perlite (1:1)	Acqua	647	(66)	1,054	(66)	1,865	(64)	4,545	(62)
	Aria	157	(16)	260	(16)	510	(18)	1,423	(20)
	Acqua	234	(24)	380	(24)	665	(23)	1,571	(22)

Metodo dei sensori di umidità

Un approccio alternativo al pilotaggio delle colture prevede l'impiego di sensori in grado di rilevare il contenuto idrico volumetrico (C/V, espresso in m^3/m^3 o %) del terreno (o del substrato) oppure il suo potenziale idrico (o tensione matriciale

(espresso in kPa; rappresenta la forza con cui il terreno trattiene l'acqua) (Pardossi et al., 2009).

Tra contenuto idrico volumetrico e potenziale idrico esiste una stretta relazione, descritta dalla cosiddetta curva di ritenzione idrica del terreno e dipendente dalla granulometria del terreno (o del substrato). Questa relazione, determinata sperimentalmente in laboratorio, è nota per molti tipi di terreno e di substrato. Nella Tabella 40 sono riportati i limiti minimi dell'umidità del terreno per diversi gruppi di specie, espressi come CIV% e come tensione. In un substrato, si considera acqua disponibile per una pianta quella corrispondente a tensioni superiori (meno negative) a -10 kPa.

Il potenziale idrico viene normalmente misurato con un tensiometro, un semplice strumento costituito da: una colonna riempita di acqua (distillata o deionizzata), una coppa porosa che consente il passaggio di acqua tra il terreno e la colonna stessa fino al raggiungimento dell'equilibrio; un manometro che rileva le variazioni della pressione negativa all'interno della colonna d'acqua.

I tensiometri rappresentano sistemi molto precisi per la misurazione del potenziale idrico, non sono influenzati dal contenuto salino e offrono misure accurate fino a tensioni di -80/-100 kPa; a valori più bassi (cioè, più negativi) si hanno fenomeni di cavitazione (formazione di bolle d'aria nella colonna d'acqua) che rendono le misure poco attendibili. Sono ancora in fase di sviluppo dei tensiometri dielettrici a basso costo che, sfruttando un principio diverso per la misura della tensione d'umidità del terreno, possono essere utilizzati anche in terreni più asciutti.

Negli ultimi 4-5 anni sono stati sviluppati e messi in commercio sensori di umidità poco costosi (meno di 1.000 euro e in alcuni casi meno di 100 euro), noti con il termine di 'sensori dielettrici'.

I sensori dielettrici si basano sulla misura dell'impedenza complessiva del substrato o del suolo, attraverso la misura del voltaggio e dell'intensità della corrente di un campo elettromagnetico da essi stessi generato. L'impedenza è strettamente correlata alla permittività e alla conducibilità elettrica (EC) di tutto il mezzo ($bulk EC_B$) e queste due grandezze possono essere convertite in CIV e nella EC dell'acqua dei pori (EC_p) attraverso calibrazioni substrato-specifiche. Questi sensori sono in grado di monitorare solo piccole porzioni di suolo, in quanto la penetrazione del campo elettromagnetico nel terreno è limitata e si riduce rapidamente allontanandosi dagli elettrodi che lo hanno generato.

La misura delle costanti dielettriche può essere effettuata in diversi modi, tra cui i più diffusi sono quelli del TDR (*Time Domain Reflectometry*) e quello del FDR (*Frequency Domain Reflectometry*). La loro differenza consiste nel fatto che nel metodo TDR si misura il tempo di transito di un impulso, mentre nel FDR si utilizza una lunghezza d'onda fissa misurando l'impedenza di questa nel terreno.

I sensori TDR in commercio sono più accurati ma assai costosi e sembra poco adatti ad un impiego su larga scala per il controllo dell'irrigazione delle colture commerciali. La recente comparsa di sensori FDR ha dato nuovo impulso allo sviluppo del pilotaggio dell'irrigazione sulla base della misura diretta dello stato idrico del suolo. Questi sensori, infatti, sono poco costosi, forniscono letture immediate e sufficientemente accurate, sono facili da installare ed hanno una ridotta

manutenzione. Il principale difetto di questa nuova generazione di sensori dell'umidità del suolo è che la loro misura è in parte influenzata sia dalla salinità e dalla temperatura del mezzo, sia dal posizionamento nel mezzo da misurare, soprattutto se si utilizzano frequenze inferiori a 20 MHz .

I sensori maggiormente diffusi commercialmente sono quelli della Delta-T Devices Ltd., (Burwell, United Kingdom; www.delta-t.co.uk.) e della Decagon Devices, Inc.,(Pullman, WA, United States; www.decagon.com). Molti sensori misurano solo CIV (ad esempio lo SM200 della Delta-T Devices Ltd., o EC 5 o EC-TM della Decagon Devices, Inc.) ed hanno prezzi compresi tra 150 e 300 euro.

Altri sensori possono misurare contemporaneamente CIV, EC_B e la temperatura, ad es. WET (Delta T-Device; Figura 25) e EC5TE (Decagon Device); questi sensori costano 400-1000 euro. Questa nuova generazione di sensori è in grado di modulare anche la concentrazione dell'acqua di fertirrigazione (Incrocci et al., 2010).



Figura 25 Un sensore WET in grado di misurare la temperatura, il contenuto idrico volumetrico e la salinità del terreno o del substrato

Diverse società, anche italiane, adesso commercializzano sistemi irrigui controllati da uno o più di questi sensori (Figura 26).

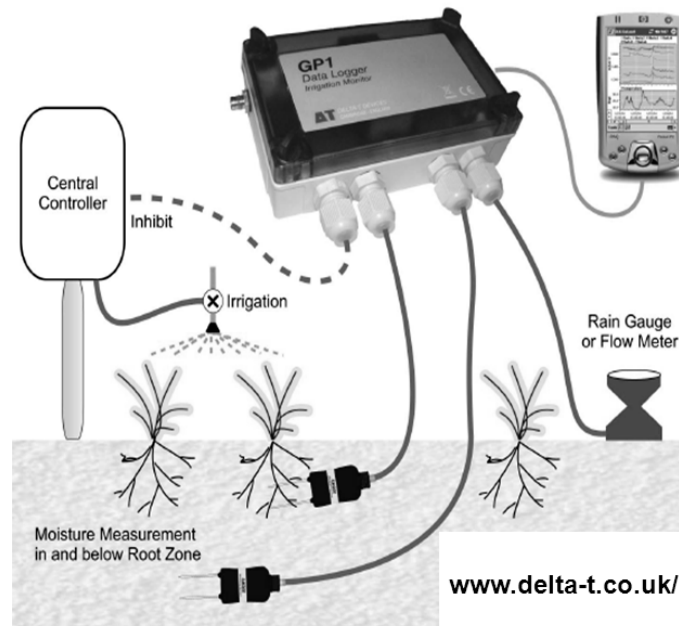


Figura 26 Un dispositivo a basso costo per il controllo automatico dell'irrigazione sulla base di due sensori dell'umidità del terreno posti in prossimità delle radici e più in profondità. L'irrigazione è attivata quando il sensore più in alto rileva una diminuzione dell'umidità sotto una soglia predefinita ed è interrotta quando il sensore più profondo rileva un aumento dell'umidità determinato dalla percolazione dell'acqua dagli strati più in superficie

Ad esempio, esistono sistemi che prevedono di interrare due sensori a diversa profondità, nella zona del terreno esplorata dalle radici e subito sotto. In questo modo, il sensore nella parte più alta attiva l'irrigazione quando il contenuto di umidità scende sotto una certa soglia (impostata dall'operatore in funzione delle caratteristiche della specie coltivata); a sua volta, il sensore più in basso ferma l'irrigazione quando avverte un aumento dell'umidità legato chiaramente alla percolazione dell'acqua. In questo modo, è lo stesso sistema che provvede a determinare sia VA che TI. Per le specie ortive, la soglia d'intervento di questi sensori (espressa in tensione) è generalmente compresa tra 25 e 60 kPa nel caso di colture a terra (Tabella 40), e tra 5 e 10 kPa nel caso di coltura su substrato.

A causa della variabilità spaziale del terreno, per un pilotaggio efficace dell'irrigazione non è sufficiente installare solo uno o due sensori. Ciò rende il sistema di controllo più costoso e più difficile da gestire. Per evitare il problema della stesura dei cavi che mettono in rete i vari sensori, diversi istituti di ricerca in collaborazione con società private stanno sviluppando, anche in Italia, la tecnologia delle reti senza-filo (*wireless*; es. *WI-FI*) che prevede, appunto, una serie di sensori collegati tra loro (eventualmente anche ad una capannina meteo) e ad un computer centrale con un *software* di gestione (Balendonck et al., 2008).

Conclusioni

In molte aziende il pilotaggio dell'irrigazione è ancora lasciato all'empirismo, che quasi sempre si traduce in uno spreco di acqua, se non addirittura in perdite di produzione.

Tra le innovazioni più importanti in tema di controllo dell'irrigazione troviamo sicuramente i nuovi sensori di umidità e salinità del terreno, la tecnologia *wireless* usata per l'integrazione di vari tipi di sensori (compresi quelli meteo) e le colture fuori suolo (a ciclo chiuso).

Molte aziende italiane, quelle all'avanguardia, già impiegano queste nuove tecnologie irrigue in grado di aumentare l'efficienza dell'irrigazione e della concimazione. Il problema è il trasferimento di queste tecnologiche nelle aziende più piccole e più deboli economicamente.

Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole

S. De Pascale*

Dipartimento di Ingegneria agraria e Agronomia del territorio – Università degli Studi di Napoli Federico II Via Università, 100 – 80055, Portici (NA) Italy
**depascal@unina.it*

Introduzione

Ai fini delle problematiche di carattere ambientale correlate con le attività agricole a maggiore input biotecnologico e tecnologico come l'orticoltura e la floricoltura, importanza non minore della quantità riveste la qualità delle acque destinate all'irrigazione. In particolare, laddove le risorse idriche sono già deficitarie rispetto ai fabbisogni anche per la irregolare distribuzione temporale (intra- e inter-annuale) delle precipitazioni, sta diventando più pressante il problema della accorta gestione delle acque e della ripartizione, non più solo economica ma anche “sociale”, delle risorse tra i diversi usi. Ne sono esempi molte zone dell'Italia meridionale come la fascia costiera e sub-costiera della provincia di Napoli, ove è tradizionalmente presente una intensa attività ortofloricola in serra ed in piena aria. Qui la situazione idrica per l'agricoltura è resa più precaria dall'elevata pressione demografica, oltre che dalla naturale maggiore domanda evapotraspirativa dell'ambiente. Ne sono derivati da un lato la cronica carenza di acqua per usi civili e dall'altro l'esasperato ed incontrollato emungimento di acqua per l'irrigazione, con conseguente abbassamento ed impoverimento delle falde che in non pochi casi si è risolto in infiltrazioni di acqua marina. Per tali motivi le acque derivate dai pozzi risultano spesso qualitativamente scadenti e con limitazioni all'impiego in ortofloricoltura, prevalentemente per elevate concentrazioni di cloruro di sodio (Tabella 43).

Tabella 43 Caratteristiche chimiche di alcune acque della zona vesuviana della provincia di Napoli impiegate per l'irrigazione in ricerche su colture da fiore

	Portici acquedotto	Torre del Greco pozzo zona costiera	Pompei pozzo zona sub-costiera
Conducibilità elettrica dS/m a 25°C	0.9	3.3	1.0
Contenuto totale di sali g/ m ³	630	2110	700
Sodio (Na) g/ m ³	n.d.	300	45
Calcio (Ca) g/ m ³	161	315	189
Cloro (Cl) g/ m ³	n.d.	430	64
Nitrati g/ m ³	38	n.d.	n.d.
Rapporto Ca/Sali tot.	0.26	0.15	0.27
Rapporto Na/sali tot.	-	0.14	0.06

Va quindi facendosi più netto l'orientamento ad utilizzare tutte le fonti disponibili: occorre però analizzare i criteri e i limiti per l'impiego delle acque a contenuto salino elevato, in rapporto sia alla redditività delle specie coltivate che alla salvaguardia della fertilità dei suoli.

Rapporti tra qualità dell'acqua e sistema suolo-acqua-pianta

Le caratteristiche delle acque più importanti nel determinare i criteri di idoneità per l'irrigazione sono:

- la concentrazione totale di sali in soluzione;
- il rapporto relativo del sodio rispetto ad altri cationi;
- le concentrazioni di ioni specifici che possono essere tossici per le piante;
- le concentrazioni di ioni specifici che possono essere tossici per l'uomo attraverso la catena alimentare.

L'utilizzazione a fini irrigui di acque non idonee (per quantità e/o qualità di sali presenti) modifica in senso negativo il complesso dei rapporti suolo-acqua-pianta con una limitazione anche drastica della normale attività fisiologica e della capacità produttiva delle piante (Figura 27).

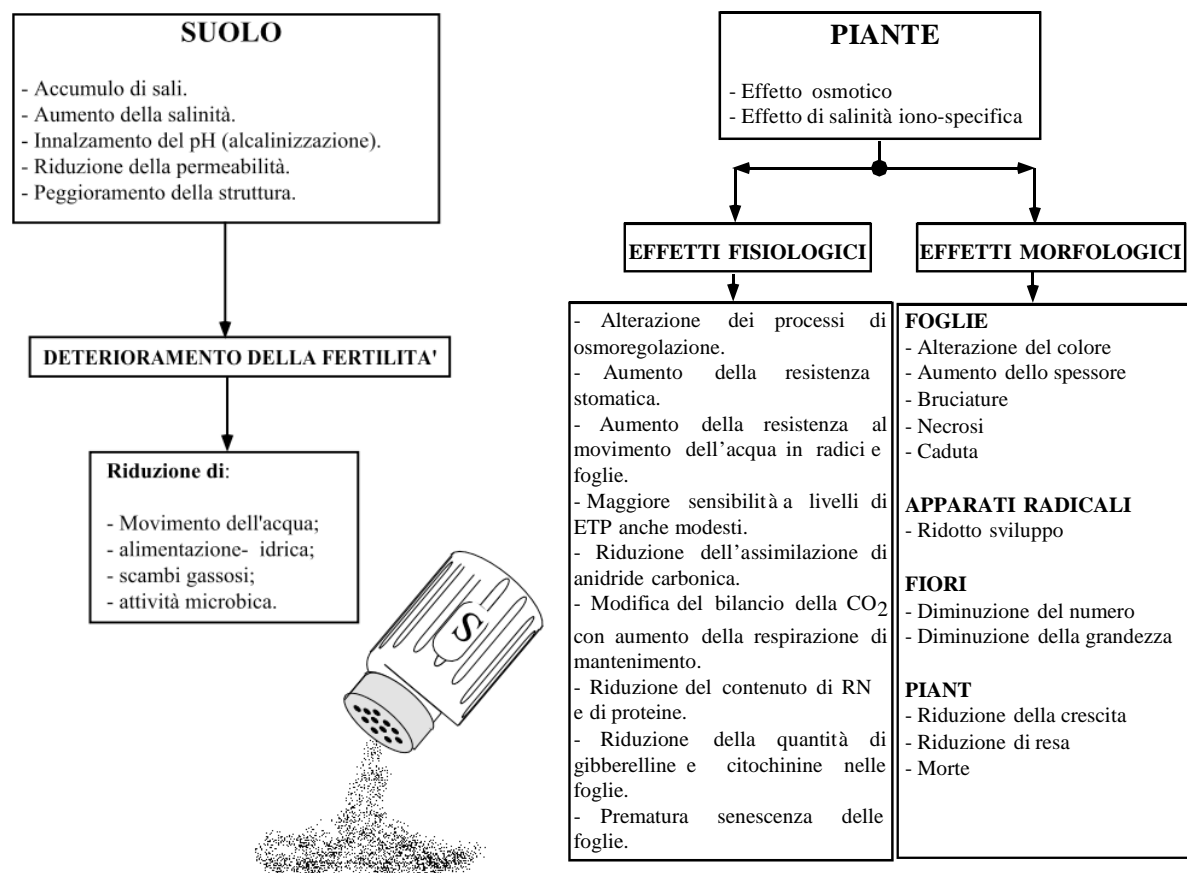


Figura 27 Schema riassuntivo dei principali effetti dovuti alla salinità delle acque di irrigazione

A livello di suolo, le alterazioni indotte da acque ad elevato contenuto di sali, soprattutto per anomala presenza di sodio non bilanciata da calcio e magnesio, si traducono in una generalizzata perdita di fertilità attraverso effetti negativi sulla permeabilità del suolo, sugli scambi gassosi, sull'attività microbica, sul movimento ed assorbimento di acqua e sullo sviluppo degli apparati radicali. A livello di pianta, l'impiego di acque non idonee per presenza di sali od anche un ambiente pedologico "salino" alterano i normali processi fisiologici, con effetti variabili dipendenti dalla quantità e qualità dei sali, dalle colture e dallo stadio del ciclo biologico, dal clima, dal terreno, dal tipo di esercizio irriguo e dal metodo irriguo, dalle condizioni colturali in cui le piante vengono allevate: è pertanto tutto il complesso dei fattori interagenti nel *sistema pianta-suolo-acqua-ambiente* che determina la tolleranza delle piante alla salinità.

L'evapotraspirazione, perdita di acqua attraverso il suolo e le piante, fa sì che acqua pura venga rimossa dal suolo, lasciandovi i sali che tendono ad accumularsi nella zona interessata dalle radici poiché il loro assorbimento da parte delle piante è trascurabile. Un bilancio più o meno favorevole può essere mantenuto con la lisciviazione, applicando volumi di acqua in eccesso rispetto ai fabbisogni delle piante. Un esempio della relazione tra il fabbisogno di lisciviazione calcolato e la qualità dell'acqua d'irrigazione è riportato in Figura 28: se non si desidera che la conducibilità elettrica (EC) dell'estratto saturo del terreno superi 2 dS/m, il fabbisogno di lisciviazione sarà rappresentato da un volume di acqua maggiorato del 10, 30 e 65% per conducibilità elettrica dell'acqua di 2.0, 2.4 e 3.5 dS/m, rispettivamente.

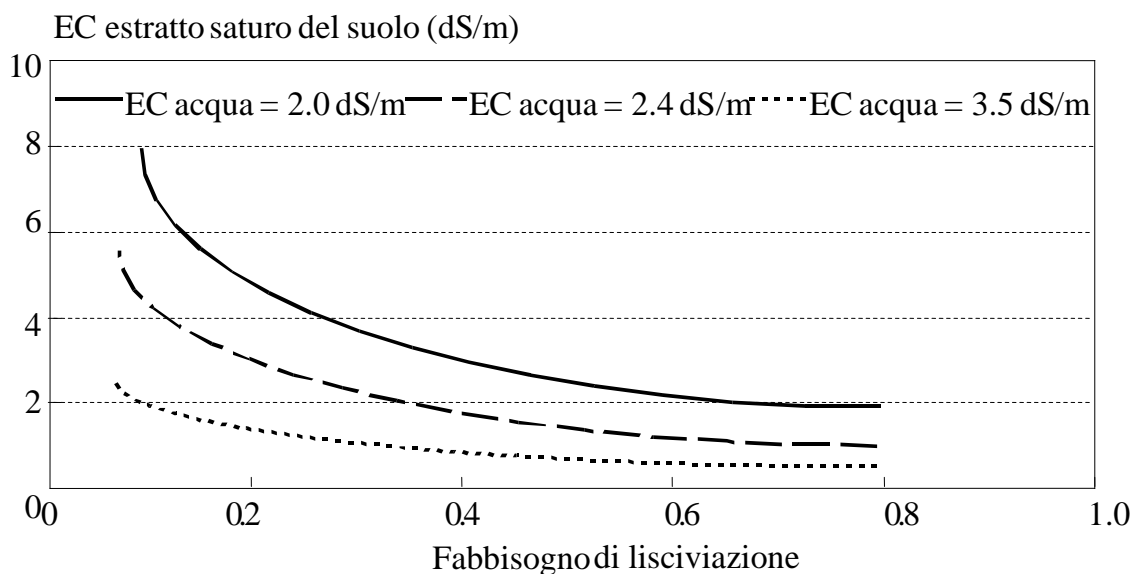


Figura 28 Relazione tra il fabbisogno di lisciviazione e la conducibilità elettrica dell'estratto saturo del suolo

Un aumento della salinità dell'acqua causa un aumento della pressione osmotica della soluzione circolante del suolo, che si traduce in una ridotta disponibilità di acqua per le piante. Questa disponibilità viene espressa in termini di *potenziale dell'acqua nel suolo*, che definisce l'energia con cui l'acqua è trattenuta dal suolo (il "lavoro" che le piante debbono spendere per assorbire l'acqua dal suolo). La salinità influenza la disponibilità dell'acqua a causa dell'effetto osmotico che essa esercita e

che può essere misurato in termini di *potenziale osmotico*, cioè come ulteriore “lavoro” che le piante debbono svolgere per assumere l'acqua in tali condizioni. Se diversi terreni con caratteristiche simili hanno lo stesso contenuto di acqua ma uno è libero da sali e gli altri sono salini, la pianta è in grado di estrarre ed usare più acqua dal primo che non da quelli salini (Figura 29).

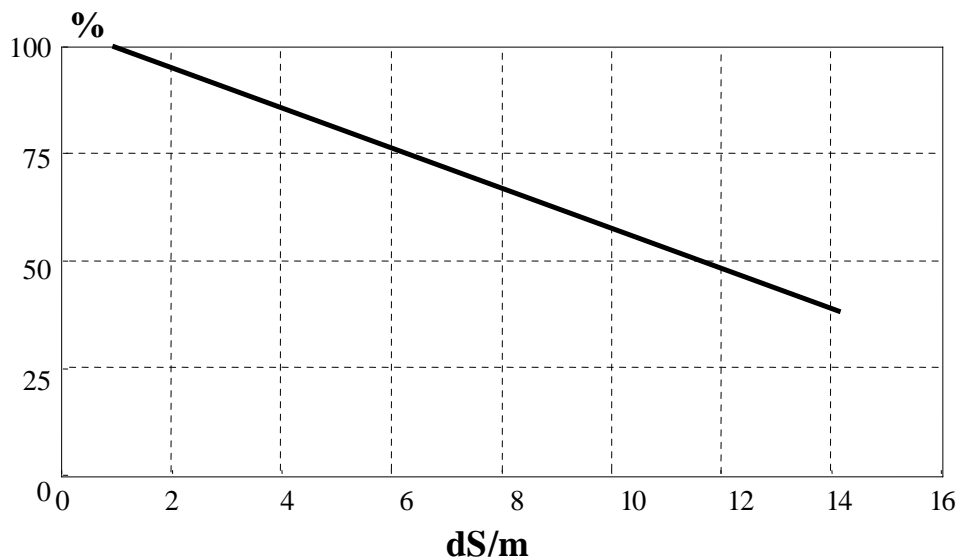


Figura 29 Variazione della disponibilità di acqua all'aumento della conducibilità elettrica dell'estratto saturo del suolo

Inoltre, man mano che tra due successive irrigazioni l'acqua viene perduta per evapotraspirazione, si ha un aumento della concentrazione di sali in un volume sempre più ridotto di acqua nel suolo: di conseguenza si ha una riduzione della disponibilità di acqua ed il deficit idrico e gli effetti osmotici tendono a diventare più gravi, acuendo i problemi della salinità.

Di altro tipo sono gli effetti legati alla presenza nell'acqua di ioni specifici, cioè alla tossicità di particolari ioni: questi effetti possono evidenziarsi o sotto forma tossica per i diversi processi fisiologici della pianta o sotto forma di scompensi di carattere nutrizionale, con differente tolleranza tra le diverse specie vegetali.

Tolleranza alla salinità

La tolleranza delle piante alla salinità può essere valutata in diversi modi:

- la capacità delle piante a sopravvivere in substrati salini. Questo criterio di valutazione è più utile negli studi di ecologia mentre è di uso limitato in agricoltura poiché spesso ha scarsa relazione con le riduzioni di resa entro limiti economicamente accettabili;
- l'accrescimento assoluto o la produzione assoluta delle piante. Questo criterio, pur consentendo la stima diretta del reddito in termini economici in certe condizioni di salinità, riflette però la risposta a molti altri parametri ambientali (clima, fertilità, regime idrico del suolo, controllo di insetti e malattie ecc.). Inoltre la risposta in termini di resa assoluta non consente confronti tra le colture in quanto le rese di specie diverse possono essere espresse in termini non sempre comparabili;

- l'accrescimento relativo o la produzione relativa in suoli salini rispetto a suoli non salini. Con questo criterio la produzione relativa viene intesa come la resa di una coltura allevata in condizioni di salinità espressa come frazione della sua resa in condizioni normali e su questa base relativa si possono confrontare colture le cui produzioni sono espresse in differenti unità. L'attendibilità dei dati di tolleranza relativa alla salinità dipende dalla misura in cui le riduzioni di resa non sono però influenzate dall'interazione con altri fattori essenziali. In tal caso, infatti, se le diminuzioni di resa relativa sono indipendenti dalle differenze nella resa assoluta determinate dall'irrigazione, dal clima, dalla fertilità ecc., la relazione tra salinità e resa relativa consente una utile espressione della tolleranza delle piante.

Attualmente questa relazione tra salinità dell'acqua (o del suolo) e resa relativa viene espressa con l'uso di due parametri (Figura 30):

- un livello massimo di salinità tollerato senza perdita di produzione (soglia di salinità), al di sotto del quale la resa è fissata al 100%;
- un fattore di pendenza che lega linearmente i decrementi di resa con gli incrementi di salinità al di sopra del valore soglia.

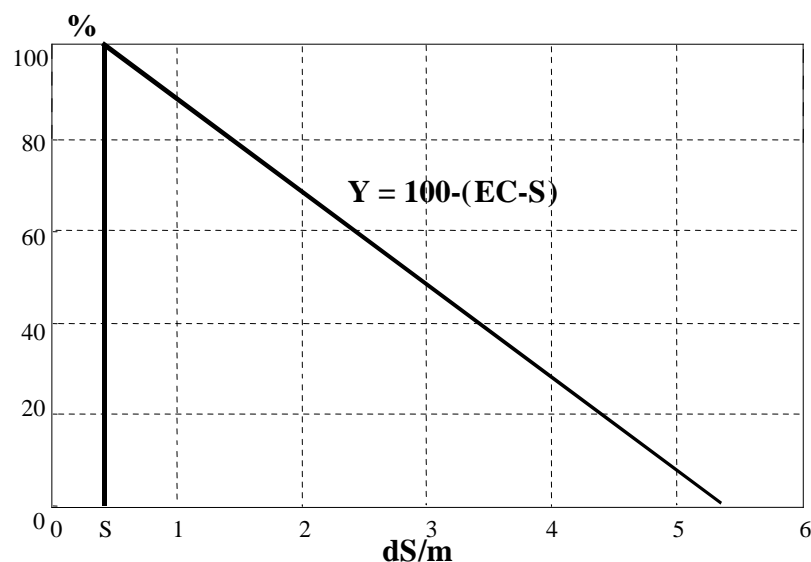


Figura 30 Relazione generale $Y_r = 100 - m(EC - S)$ tra diminuzione relativa di resa e conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione o dell'estratto saturo del suolo

Con l'uso di questi due parametri la resa relativa della maggior parte delle colture può essere rappresentata con buona approssimazione dalla seguente equazione: $Y_r = 100 - m(EC - S)$, in cui Y_r è la resa relativa in %, m è il fattore pendenza, diminuzione percentuale di resa per aumento unitario di salinità al di sopra del valore-soglia, EC è la conducibilità elettrica (dell'acqua o dell'estratto saturo del suolo) in dS/m, S è la soglia di salinità espressa come conducibilità elettrica. Sia S che m sono parametri specifici per ciascuna coltura.

In Tabella 44 riportata la valutazione della tolleranza alla salinità di alcune colture ortive: per alcune di esse è data solo una indicazione qualitativa in quanto i dati sperimentali non consentono una stima quantitativa. La conversione tra conducibilità

elettrica dell'acqua (EC_w) e conducibilità elettrica dell'estratto saturo del suolo (EC_e) è stata effettuata sotto l'ipotesi che, sulla base di un fattore di lisciviazione del 15-20%, la salinità dell'acqua nel suolo (EC_{sw}) sia tre volte quella dell'acqua di irrigazione e che la salinità dell'estratto saturo del suolo sia la metà del valore della salinità dell'acqua nel suolo: $EC_e = 0.5 \times EC_{sw} = 0.5 \times (3 \times EC_w) = 1.5 \times EC_w$. Valori diversi di conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione possono essere ottenuti per differenti valori del fabbisogno di lisciviazione che modificano la relazione tra EC_e ed EC_w : ad esempio per un fattore di lisciviazione del 10% $EC_e = 2 \times EC_w$ per un fattore di lisciviazione del 40% $EC_e = 0.9 \times EC_w$.

Tabella 44 Tolleranza alla salinità in colture ortive
S=sensibili; MS=moderatamente sensibili; MT=moderatamente tolleranti; T=tolleranti -
continua-

Coltura		Estratto saturo del suolo		Acqua irrigua	
		Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]
Anguria	MS	-	-	-	-
Asparago	T	4.1	2.0	2.7	3.0
Bietola rossa	MT	4.0	9.0	2.7	13.5
Carota	S	1.0	14.0	0.7	21.0
Cavolfiore	MS	-	-	-	-
Cavolo broccolo	MS	2.8	9.2	1.9	13.8
Cavolo cappuccio	MS	1.8	9.7	1.2	14.6
Cavolo di Bruxelles	MS	-	-	-	-
Cetriolo	MS	2.5	13.0	1.7	19.5
Cipolla	S	1.2	16.0	0.8	24.0
Fagiolo	S	1.0	19.0	0.7	28.5
Fragola	S	1.0	33.0	0.7	49.5
Lattuga	MS	1.3	13.0	0.9	19.5
Mais dolce	MS	1.7	12.0	1.1	18.0
Melanzana	MS	-	-	-	-
Melone	MS	2.2	7.3	1.5	11.0

		Estratto saturo del suolo		Acqua irrigua	
Coltura		Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]
Patata	MS	1.7	12.0	1.1	18.0
Peperone	MS	1.5	14.0	1.0	21.0
Pisello	MS	-	-	-	-
Pomodoro	MS	2.5	9.9	1.7	15.0
Rapa	MS	0.9	9.0	0.7	13.5
Ravanello	MS	1.2	13.0	0.8	19.5
Sedano	MS	1.8	6.2	1.2	9.3
Spinacio	MS	2.0	7.6	1.3	11.4
Zucchini	MT	4.7	9.4	3.1	14.1

La salinità influenza le piante a tutti gli stadi di sviluppo ma la sensibilità può variare talvolta da uno stadio all'altro. Un confronto tra la tolleranza alla salinità in fase di germinazione e di emergenza con la tolleranza in fasi successive è però reso difficile dai differenti criteri usati per valutare la risposta delle piante: la tolleranza durante l'emergenza è basata sulla sopravvivenza mentre quella dopo l'emergenza è basata sulla diminuzione della produzione. Con alcune eccezioni come la bietola che è più sensibile di altre colture durante la germinazione e meno nelle fasi successive, in linea di massima si può ritenere valida la scala di tolleranza per la produzione: le piantine sono più sensibili nelle fasi giovanili e diventano più tolleranti con lo sviluppo.

Nella Tabella 45 sono riportati i parametri della tolleranza alla salinità in alcune specie da fiore, per le quali, quando la valutazione viene espressa in termini di fiori per pianta, è dato notare un generalizzato aumento del fattore pendenza rispetto alla valutazione della tolleranza in termini di peso delle piante.

Per queste colture la produzione di interesse economico risulta pertanto più danneggiata dal livello di salinità dell'acqua di irrigazione o del suolo (Figura 31). Nell'ambito delle specie vanno altresì segnalate significative differenze tra le cultivar, offrendo la possibilità per la selezione e per il miglioramento genetico per questo stress di natura abiotica.

Inoltre, per le specie ornamentali alcuni fattori estetici come la taglia e l'aspetto sono criteri più importanti nel fissare i livelli ammissibili di salinità: i dati di Tabella 46 indicano i valori-soglia fino a cui ci si può ancora attendere un accettabile aspetto generale senza sintomi caratteristici a carico delle foglie associati ad accumulo di cloro e di sodio in eccesso.

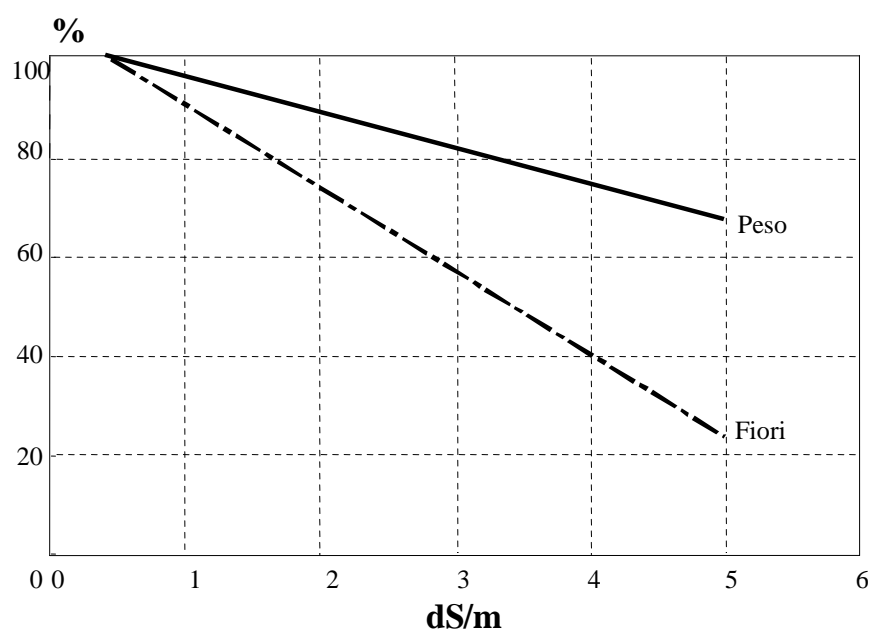


Figura 31 Differenze nella risposta in termini di peso e di fiori per pianta nella Zinnia all'aumento della salinità dell'estratto saturo del suolo.

Tabella 45 Tolleranza alla salinità in colture da fiore (P=resa relativa in termini di peso della pianta; F=resa relativa in termini di numero di fiori per pianta)

-continua-

Coltura	Estratto saturo del suolo		Acqua irrigua	
	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]
Agerato (P)	1.2	13.7	0.8	20.5
(F)	0.6	14.1	0.4	21.1
Alisso (F)	0.8	18.0	0.5	27.0
Alstroemeria (P)	0.9	10.0	0.6	15.0
Anthurium (P)	0.9	18.7	0.6	28.1
Celosia (P)	1.2	2.1	0.8	3.1
(F)	1.2	8.0	0.8	12.0
Cosmea (P)	1.7	11.3	1.1	17.0
(F)	1.5	13.5	1.0	20.3
Crisantemo (P)	0.9	8.7	0.6	13.1

Coltura	Estratto saturo del suolo		Acqua irrigua	
	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]	Soglia [dS/m]	Pendenza [%/(dS/m)]
Garofano (P)	2.5	3.9	1.7	5.8
Gerbera (P)	0.9	14.1	0.6	21.2
Hippeastrum (P)	0.9	11.7	0.6	17.6
Petunia (F)	1.8	3.6	1.2	5.4
Rosa (P)	1.5	9.7	1.0	14.6
(F)	1.2	10.3	0.8	15.5
Tagete (P)	1.2	5.3	0.8	8.0
(F)	1.1	12.5	0.8	18.8
Zinnia (P)	1.0	8.0	0.7	11.9
(F)	0.9	18.9	0.7	28.3

Tabella 46 Tolleranza alla salinità in specie ornamentali
I valori di salinità superiori al massimo accettabile causano bruciature e perdite di foglie e/o eccessiva riduzione di taglia.

-continua-

Coltura	Valore massimo tollerabile	
	Estratto saturo del suolo [dS/m]	Acqua irrigua [dS/m]
Molto sensibili	1.0-2.0	0.7-1.3
<i>Trachelospermum jasminoides, Cotoneaster congestus, Mahonia aquifolium, Photinia x Fraseri</i>		
Sensibili	2.0-3.0	1.3-2.0
<i>Feijoa sellowiana, Ilex cornuta, Rosa sp., Abelia x grandiflora, Podocarpus macrophyllus, Liriodendron tulipifera</i>		
	3.0-4.0	2.0-2.7
<i>Hedera canariensis, Pittosporum tobira, Nandina domestica, Hibiscus Rosasinensis, Viburnum tinus, Arbutus unedo, Lagerstroemia indica, Maranta leuconeura, Stromanthe amabilis</i>		

	Valore massimo tollerabile		
Coltura	Estratto saturo del suolo [dS/m]		Acqua irrigua [dS/m]
Moderatamente sensibili	4.0-6.0		2.7-4.0
<i>Ligustrum lucidum, Lantana camara, Bauhinia purpurea, Magnoliagrاندiflora, Buxus microphylla var. japonica, Xylosma congestum, Pinus thumbergiana, Raphiolepis indica, Dodonaea viscosa, Platycladus orientalis, Elaeagnus pungens, Juniperus chinensis, Pyracantha fortuneana, Prunus cerasifera, Dieffenbachia maculata, Brassia actinophylla</i>			
Moderatamente tolleranti	6.0-8.0		4.0-5.3
<i>Callistemon viminalis, Nerium oleander, Chamaerops humilis, Cordyline indivisa, Euonymus japonica, Rosmarinus officinalis, Pinushalepensis, Liquidambar styraciflua</i>			
Tolleranti	>8.0		>5.3
<i>Syzygium paniculatum, Leucophyllum frutescens, Carissa grandiflora, Pyrus kawakamii, Bougainvillea spectabilis, Pinus pinea</i>			
Molto tolleranti	>10		>6.7
<i>Delosperma alba, Drosanthemum hispidum, Lampranthus productus, Hymenocyclus croceus</i>			

Tolleranza a ioni specifici

Il cloro è essenziale all'accrescimento vegetale ma quando è assorbito in eccesso ha effetti tossici con manifestazioni quali bruciature degli apici e dei margini fogliari, imbrunimento e prematuro ingiallimento e caduta delle foglie. Esso non è adsorbito dal suolo ma si muove facilmente con la soluzione circolante da cui viene assorbito dalle radici, accumulandosi nelle foglie: a concentrazioni elevate possono aversi fenomeni di interferenza con l'assorbimento dei nitrati e con il trasporto di acidi organici entro e tra le cellule. Per la maggior parte delle specie non legnose la tolleranza al cloro può essere stimata dai valori soglia dati nelle tabelle di tolleranza alla salinità: assumendo che la salinità consista in modo predominante di sali di cloro, moltiplicando i valori soglia in dS/m per 10 si hanno le concentrazioni approssimate di Cl in mol/m³ nell'acqua di irrigazione o nell'estratto saturo del suolo (moltiplicando ancora per 35.4 le concentrazioni sono espresse in g/m³).

Il sodio ha effetti diretti ed indiretti sull'accrescimento e sulla produttività delle piante. Gli effetti diretti sono dovuti all'accumulo a livelli tossici e sono generalmente limitati alle specie legnose, con sensibilità variabile in modo considerevole tra le specie e tra i portainnesti. Gli effetti indiretti del sodio riguardano sia gli squilibri nutrizionali sia il peggioramento delle condizioni fisiche del suolo. Per quanto riguarda gli squilibri nutritivi, i loro effetti non sono semplicemente legati alla percentuale di sodio scambiabile del suolo ma dipendono anche dalle concentrazioni di calcio e magnesio. Il deterioramento delle condizioni fisiche del suolo riguarda la maggior parte delle colture, in quanto la dispersione degli aggregati del suolo porta ad una diminuzione della permeabilità del suolo all'aria ed all'acqua, con conseguenti

riduzioni dell'accrescimento e della produzione. Tali riduzioni possono presentarsi anche in colture non specificamente sensibili al sodio a causa degli effetti congiunti dei problemi nutrizionali e del peggioramento delle condizioni fisiche del suolo.

Il boro può anch'esso diventare tossico quando la sua concentrazione nella fase liquida del suolo supera anche di poco quella necessaria all'accrescimento ottimale. In linea di massima concentrazioni tossiche di boro si trovano quasi esclusivamente in suoli delle zone aride ed in acque di pozzo ed in sorgenti delle aree geotermiche e vulcaniche, mentre la maggior parte delle acque di superficie contengono livelli accettabili di boro. La tolleranza a questo elemento di alcune colture ortive ed ornamentali è riportata nelle Tabella 47 e Tabella 48. I dati, che si riferiscono in generale a condizioni di allevamento in sabbia, indicano gli intervalli di concentrazione massima nella soluzione circolante del suolo che, a seconda delle specie, non determinano riduzioni di resa o danni a carico delle foglie o peggioramento dell'aspetto. Anche la tolleranza al boro, come quella alla salinità, varia con le condizioni climatiche e pedologiche e con le cultivar.

Tabella 47 Tolleranza al boro di alcune colture ortive come concentrazione massima accettabile nella soluzione circolante del suolo senza riduzioni di resa

Coltura	Soglia [g/m ³]
Sensibili	
Cipolla	0.50-0.75
Aglio	0.75-1.00
Fragola	0.75-1.00
Fagiolo	0.75-1.00
Moderatamente sensibili	
Cavolo broccolo	1.00-2.00
Peperone	1.00-2.00
Pisello	1.00-2.00
Carota	1.00-2.00
Ravanello	1.00-2.00
Patata	1.00-2.00
Cetriolo	1.00-2.00
Moderatamente tolleranti	
Lattuga	2.00-4.00
Cavolo cappuccio	2.00-4.00
Sedano	2.00-4.00
Rapa	2.00-4.00

Coltura	Soglia [g/m ³]
Moderatamente tolleranti	
Carciofo	2.00-4.00
Zucchino	2.00-4.00
Melone	2.00-4.00
Cavolfiore	2.00-4.00
Tolleranti	
Pomodoro	4.00-6.00
Prezzemolo	4.00-6.00
Bietola rossa	4.00-6.00
Molto tolleranti	
Asparago	10.0-15.0

Oltre i precedenti elementi, molti altri reagiscono con il suolo e possono non essere allontanati attraverso la lisciviazione causando accumulo a livelli tossici sia nel suolo che nelle piante, nonostante la presenza nelle acque di irrigazione a concentrazioni molto basse. Sono pertanto necessari criteri di qualità dell'acqua validi anche per la protezione del sistema suolo in condizioni di irrigazione continuative e prolungate nei riguardi di ioni specifici, che possono arrivare al suolo anche attraverso fertilizzanti, deiezioni animali ed acque reflue. Nonostante il minor numero di ricerche su questi elementi secondari, in Tabella 49 sono riportate le concentrazioni massime tollerate nelle acque di irrigazione nel caso di uso continuato dell'irrigazione. In generale, i livelli indicati sono stati derivati da ricerche condotte per valutare gli effetti di un singolo elemento, mentre è stato poco preso in considerazione l'aspetto importante dell'interazione tra ioni, per la quale l'effetto di uno ione può essere modificato dalla presenza di altri.

Tabella 48 Tolleranza al boro di alcune specie da fiore ed ornamentali come concentrazione massima accettabile nella soluzione circolante al di sopra della quale possono aversi bruciature e perdita di foglie, riduzione dell'accrescimento, peggioramento dell'aspetto

Coltura	Soglia [g/m³]
Molto sensibili	<0.5
<i>Mahonia aquifolium, Photinia x Fraseri, Xylosma congestum, Elaeagnus pungens, Viburnum tinus, Ligustrum japonicum, Feijoa sellowiana, Euonymus japonica, Pittosporum tobira, Ilex cornuta, Juniperus chinensis, Lantana camara, Ulmus americana</i>	
Sensibili	0.5-1.0
<i>Zinnia elegans, Viola tricolor, Viola odorata, Delphinium sp., Abelia x grandiflora, Rosmarinus officinalis, Platycladus orientalis, Pelargonium x hortorum</i>	
Moderatamente sensibili	1.0-2.0
<i>Gladiolus sp., Calendula officinalis, Euphorbia pulcherrima, Callistephus chinensis, Gardenia sp., Podocarpus macrophyllus, Syzygium paniculatum, Cordyline indivisa, Leucophyllum frutescens</i>	
Moderatamente tolleranti	2.0-4.0
<i>Callistemon citrinus, Eschscholzia californica, Buxus microphylla, Nerium oleander, Hibiscus Rosasinensis, Lathyrus odoratus, Dianthus cariophyllus</i>	
Tolleranti	6.0-8.0
<i>Raphiolepis indica, Carissa grandiflora, Oxalis bowiei</i>	

Tabella 49 Concentrazioni massime tollerabili di alcuni elementi minori con uso continuato dell'irrigazione

Elemento	[g/m ³]	Condizioni di pericolo del suolo	Tossico o dannoso per:	Colture sensibili/osservazioni
Alluminio	5.0	suoli acidi	piante	lattuga, cipolla, spinacio
Arsenico	0.1	accumulo	piante, animali	distruzione di clorofilla
Berillio	0.1	suoli acidi	piante	fagiolo, pomodoro, pisello, lattuga
Bromo	4.0		uomo	accumulo nelle piante
Cadmio	0.01	accumulo	uomo	accumulo nelle piante con effetti tossici
Cobalto	0.2		piante	
Cromo	1.0		piante, uomo	Cromo esavalente 0.1 g/m ³
Ferro	2.0		piante	danni ad attrezzature metalliche irrigue
Fluoro	1.0		piante, uomo	colture floricole
Litio	2.5		piante	per agrumi 0.1 g/m ³
Manganese	0.5	suoli acidi	piante	in suoli acidi 0.2 g/m ³
Molibdeno	0.01		animali	accumulo nelle piante
Nickel	0.2	suoli acidi	piante	
Piombo	5.0		piante, uomo	
Rame	0.2	suoli acidi	piante	
Selenio	0.02		uomo	accumulo nelle piante
Zinco	2.0		piante	il valore va ridotto in presenza di rame o nickel

Interventi possibili

In caso di acque non idonee all'irrigazione per difetti di qualità, gli interventi attuabili possono variare dalla correzione delle acque con impianti di deionizzazione o di osmosi inversa a tecniche agronomiche ed irrigue alternative. Nel primo caso, le tecnologie di correzione delle acque implicano elevati costi del trattamento, sia di impianto che di gestione (soprattutto in termini energetici), e possono trovare applicazione in situazioni di superfici irrigue ridotte e/o particolari colture che rendano valida economicamente la scelta (es. serre, colture floricole), per le quali può essere conveniente ricorrere anche all'utilizzazione di acque piovane appositamente raccolte.

Per quanto riguarda le tecniche agronomiche ed irrigue alternative, l'obiettivo principale nello scegliere una procedura di gestione del problema salinità è di migliorare la disponibilità idrica per le colture.

Alcuni interventi mirano a:

- irrigare più frequentemente per assicurare un adeguato rifornimento idrico alla coltura, mantenendo una più elevata disponibilità idrica nella parte superiore dell'apparato radicale che ad ogni irrigazione viene ad essere più lisciviata della parte inferiore, limitando gli effetti osmotici;
- coltivare specie (o, quando disponibili, cultivar) che siano più tolleranti alla salinità, considerando che il campo di impiego delle acque di irrigazione è abbastanza ampio in rapporto alla possibilità di scelta della coltura più adatta, possibilità che risulta piuttosto larga in un intervallo di valori che variano di circa dieci volte;
- impiegare normalmente volumi maggiorati di acqua, per soddisfare il citato fabbisogno di lisciviazione;
- cambiare metodo irriguo, rivolgendosi a quelli che assicurano migliore controllo della salinità. Può essere infatti più facile controllare la salinità con i metodi a microportate di erogazione (goccia e similari) che non con i metodi superficiali. Questi ultimi in genere non sono sufficientemente flessibili per consentire modifiche dell'intervallo tra le irrigazioni, che deve essere ridotto nel caso di acque saline;
- cambiare alcune pratiche colturali adattandole alla situazione di salinità dell'acqua. Per la concimazione è conveniente evitare distribuzioni localizzate ed utilizzare dosi inferiori al normale nelle prime fasi e dosi normali successivamente, in quanto i semi in germinazione e le giovani piantine sono più sensibili. Per la disposizione dei semi o delle piantine può essere conveniente seminare o trapiantare a fila doppia su aiuole sopraelevate, con le piante spostate verso i solchi, piuttosto che su una sola fila al centro dell'aiuola dove tendono a concentrarsi i sali. Un altro sistema è quello di distribuire acqua a solchi alterni: infatti, irrigando tutti i solchi i sali si accumulano al centro ed in superficie dell'aiuola mentre irrigando a solchi alterni i sali tendono ad essere portati oltre la singola fila di piante, soprattutto se queste sono spostate verso il bordo irrigato come nel caso precedente;

- miscelare le fonti di approvvigionamento idrico. Quando siano eventualmente disponibili diverse fonti, una miscela può aiutare, se non a risolvere, almeno ad abbattere il rischio di salinità di un'acqua. La diluizione ovviamente degrada l'acqua di buona qualità e migliora quella di scarsa qualità. La salinità della miscela risultante può essere calcolata dalla relazione:

$$EC \text{ miscela} = (EC \text{ acqua } 1 \times \% \text{ acqua } 1) + (EC \text{ acqua } 2 \times \% \text{ acqua } 2).$$

Nel caso di un'acqua proveniente da un canale con $EC = 0,23 \text{ dS/m}$ e di un'acqua di pozzo con $EC = 3.6 \text{ dS/m}$ in rapporto di miscela di 3:1 (75% della prima e 25% della seconda), la miscela risulta avere una EC di 1.07.

I precedenti interventi, nonché altri quali l'uso di ammendanti, il drenaggio efficiente, la modifica del profilo del suolo per migliorare la percolazione al di sotto dello strato maggiormente interessato dagli apparati radicali, il dilavamento per le precipitazioni autunno-invernali, possono contribuire a ridurre anche i problemi di tossicità da ioni specifici.

Allegati

Fattori di conversione tra le unità di misura più frequentemente utilizzate per i parametri presi in considerazione nelle analisi chimiche delle acque irrigue (FONTE: Quaderno ARSIA 5/2004) –continua -

Parametro	Unità di misura più utilizzate	Conversioni
Concentrazione di sali, ioni e nutrienti	1 ppm = 1 mg/L = 1 g/m ³	STD (g/L) = residuo fisso (g/L) ≈ 0,64 • EC (dS/m)
Conducibilità elettrica (EC)	µS/cm; mS/cm; dS/m	1000 µS/cm = 1 mS/cm = 1 dS/m
Calcio (Ca ²⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = ppm /40 meq/L = ppm /20
Magnesio (Mg ²⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = ppm /24,3 meq/L = ppm /12,15
Sodio (Na ⁺)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm /23
Durezza totale	ppm di CaCO ₃ °F (gradi francesi): 1 °F = 10 mg/L di Ca + Mg (come CaCO ₃) °dH (gradi tedeschi): 1 °dH = 10 mg/L di Ca + Mg (come CaO)	ppm di CaCO ₃ = ppm Ca • 2,5 + ppm Mg • 4,1 °F = ppm CaCO ₃ /10 °dH = °F/1,79
Cloruri (Cl)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm/35,45
Bicarbonati (HCO ₃ ⁻)	ppm; mmoli/L; meq/L	mmoli/L = meq/L = ppm/61
Solfati (SO ₄ ²⁻ -S)	ppm di S; ppm SO ₄ ²⁻ ppm; mmoli/L; meq/L	ppm S = ppm di SO ₄ ²⁻ /3 mmoli/L = ppm S / 32 meq/L = ppm S / 16
Azoto nitrico (NO ₃ ⁻ -N)	ppm N; ppm NH ₄ ⁺ ; mmoli/L; meq/L	ppm di N = ppm di NO ₃ ⁻ /4,43 mmoli/L = meq/L = ppm N/14
Azoto ammoniacale (NH ₄ ⁺ -N)	ppm N; ppm c; mmoli/L; meq/L	ppm N = ppm NH ₄ ⁺ / 1,28 mmoli/L = meq/L = ppm N/14
Fosfati (PO ₄ ³⁻ -P)	ppm P; ppm P ₂ O ₅ ; ppm PO ₄ ³⁻ ; mmoli/L	ppm P = ppm P ₂ O ₅ /2,29 ppm P = ppm PO ₄ ³⁻ /3,07
Potassio (K ⁺)	ppm K; ppm K ₂ O; moli/L; meq/L	mmoli/L = ppm P / 30,97 ppm K = ppm K ₂ O / 1,2 mmoli/L = meq/L = ppm K/39,1
Ferro (Fe)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,0558
Manganese (Mn ²⁺)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,0549
Rame (Cu ²⁺)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,0635
Zinco (Zn)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,0654
Boro (B)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,010
Molibdeno (Mo)	ppm; µmoli/L	µmoli/L = ppm /0,0959

µS/cm: microSiemens per centimetro a 25°C

mS/cm: milliSiemens per centimetro a 25°C

dS/m: deciSiemens per metro a 25°C

ppm: parti per milione

mg/L: milligrammi per litro

mmoli/L: millimoli per litro

µmoli/L: micromoli per litro

meq/L: milliequivalenti per litro.

Parametro	Simbolo chimico o sigla	Significato
		<i>Acidità o basicità</i>
pH		Esprime l'acidità o basicità dell'acqua; il valore 7,0 corrisponde alla neutralità, valori inferiori indicano acidità mentre valori superiori indicano basicità.
		<i>Salinità</i>
Conducibilità elettrica o residuo fisso o sali totali disciolti	EC STD	Indicano la quantità complessiva di sali presenti. Il più semplice da determinare è la EC che consente una prima valutazione della qualità dell'acqua (per la conversione vedi Tabella 47)
		<i>Sostanze caratterizzanti</i>
Calcio Magnesio	Ca ²⁺ Mg ²⁺	Vengono assorbiti in quantità notevole dalle piante e non sono tossici nemmeno ad elevate concentrazioni; tuttavia – se presenti in notevole quantità – reagiscono con carbonati e bicarbonati a formare il calcare che si deposita nelle tubazioni, sugli ugelli e sulle foglie. La somma delle concentrazioni di Ca e Mg rappresenta la durezza totale.
Sodio	Na ⁺	Viene assorbito dalle piante – è addirittura indispensabile a basse concentrazioni – ma in genere rappresenta un problema perché tende ad accumularsi nel suolo/substrato e provoca effetti tossici sulla vegetazione e un peggioramento delle caratteristiche fisiche del suolo.
Cloruri	Cl ⁻	Vengono assorbiti dalle piante – per le piante superiori sono addirittura indispensabili a basse concentrazioni – ma nella quasi totalità dei casi rappresentano un problema perché tendono ad accumularsi nel suolo o nel substrato e provocano effetti tossici sulla vegetazione.
Carbonati Bicarbonati	CO ₃ ²⁻ HCO ₃ ⁻	Un progressivo accumulo nel suolo o nel substrato provoca un aumento del pH. In presenza di calcio e magnesio il carbonato forma composti insolubili (calcare) che possono provocare problemi agli impianti idraulici e incrostazioni sulle lamine fogliari. I carbonati sono presenti solo se il pH è superiore ad 8,0-8,3. Vengono indicati anche con il termine "alcalinità".
Solfati	SO ₄ ²⁻	Lo zolfo (S) è un elemento indispensabile per la vita delle piante e viene assorbito – come solfato – in notevoli quantità, tuttavia talvolta la concentrazione presente nell'acqua è eccessiva e possono verificarsi accumuli nel suolo o nel substrato con conseguente aumento della salinità; possono formarsi depositi fogliari.

Parametro	Simbolo chimico o sigla	Significato
		<i>Macro- e micro-nutrienti</i>
Azoto nitrico Azoto ammoniacale Fosfati Potassio	$\text{NO}_3^{2-}\text{-N}$ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ PO_4^{3-} K^+	Sono i nutrienti assorbiti in maggiore quantità dai vegetali. Difficilmente arrivano a concentrazioni tossiche tuttavia può essere importante conoscerne la concentrazione nell'acqua irrigua per tenerne conto nel piano di concimazione, soprattutto se si usa la fertirrigazione.
Ferro Manganese	Fe Mn	Sono elementi importanti per la vita delle piante ma in concentrazione eccessiva formano precipitati di colore rossastro o bruno-rossastro che possono danneggiare gli impianti e sporcare le foglie provocando, a bassi livelli, un decadimento commerciale del prodotto e ad alti livelli, una pronunciata riduzione dello sviluppo fogliare e quindi dell'intera pianta.
Rame Zinco Boro Molibdeno	Cu Zn B Mo	Indispensabili – a bassa concentrazione – per la vita delle piante, possono facilmente raggiungere concentrazioni tossiche, variabili a seconda della specie. Possono causare danni anche per accumulo sulla superficie fogliare.
		<i>Sostanze tossiche</i>
Tensioattivi anionici	MBAS, BIAS	Sono contenuti nei detersivi, possono essere tossici per le piante.
Altri metalli: Cadmio Cromo Nichel Piombo Mercurio	Cd Cr Ni Pb Hg	Sono alcuni dei cosiddetti "metalli pesanti", oltre certi limiti tossici per l'uomo e per le piante.
Fluoruro	F^-	Può essere tossico oltre determinate concentrazioni.
		<i>Parametri legati al rischio di occlusione dei gocciolatori</i>
Solidi totali sospesi o materiali in sospensione totali	STS TSS	Sono materiali inorganici (sabbia, limo, argilla) o organici che possono creare problemi di occlusione negli impianti idraulici.
Colonie a 22°C	UFC/100 mL	Indica il numero totale dei batteri presenti nell'acqua, valori superiori a 10.000 UFC/mL possono indicare un rischio di occlusione degli ugelli.

Legenda: • = sempre necessario; o = necessario in zone a rischio.
 Linee guida per la scelta del tipo di analisi chimica dell'acqua irrigua (FONTE: Quaderno ARSIA 5/2004)

Parametro	Valutazione iniziale	Colture intensive	Fertirrigazione	Progettazione impianti di trattamento acque
pH	•	•	•	•
EC o residuo fisso	•	•	•	•
Calcio	•	•	•	•
Magnesio	•	•	•	•
Sodio	•	•	•	•
Cloruri	•	•	•	•
Carbonati/bicarbonato (alcalinità)	•	•	•	•
Solfati	•	•	•	•
Azoto nitrico			•	•
Azoto ammoniacale			•	•
Fosfati			•	•
Potassio			•	•
Ferro	•	•	•	•
Manganese		•	•	•
Rame		•	•	•
Zinco		•	•	•
Boro	o	•	•	•
Molibdeno	o	o	o	o
Tensioattivi	o	o	o	o
Cadmio, Cromo, Nichel, Piombo, Mercurio	o	o	o	o
Fluoruri	o	o	o	o
Solidi sospesi				•
Colonie a 22°C				o

La fertirrigazione, un utile strumento per un'orticoltura sostenibile

P. Sambo*

*Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali – Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università, 16 – 35020, Legnaro (PD) Italy * paolo.sambo@unipd.it*

Introduzione

La salvaguardia delle risorse idriche, intesa come riduzione sia del consumo di acqua che dei fenomeni di contaminazione legati alle pratiche agricole, prime tra tutte la concimazione, è un argomento di estremo interesse, soprattutto nel bacino del mediterraneo, dove l'acqua irrigua di buona qualità è sempre più limitata a causa di uno sfavorevole regime pluviometrico (precipitazioni annuali ridotte e soprattutto irregolari) e della progressiva salinizzazione delle falde idriche, perlomeno nelle zone costiere. Particolarmente grave appare il problema relativo all'inquinamento provocato dai fertilizzanti, soprattutto dall'azoto, a causa della sua elevata mobilità nel suolo e del suo dilavamento attraverso le piogge e l'irrigazione. Nel codice di buona pratica agricola (CBPA), relativo alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (Direttiva CEE 91/676), vengono incoraggiate quelle tecniche con le quali la concimazione azotata viene effettuata con poco anticipo rispetto ai momenti di fabbisogno (concimazione in copertura, fertirrigazione). Inoltre viene ribadita l'importanza di praticare la fertirrigazione con metodi irrigui che assicurino una elevata efficienza distributiva dell'acqua.

A livello mondiale il consumo di fertilizzanti in generale, è in continua crescita; per la produzione agraria mondiale, si è passati all'impiego di 40 milioni di tonnellate nel 1974, a 100 milioni di tonnellate di fertilizzanti azotati nel 2000. In generale, in Italia è stata stimata una distribuzione eccedentaria rispetto ai fabbisogni della colture, di quasi 350.000 t l'anno (Miele, 2003).

I fabbisogni delle colture

Numerose sono state nel passato le ricerche sperimentali condotte per poter individuare i migliori apporti nutrizionali in coltivazioni praticate all'aperto o in ambiente protetto e i risultati ricavati hanno fornito valide informazioni al mondo operativo. Sono stati individuati particolari fabbisogni di alcuni elementi nutritivi in precisi stadi fenologici della pianta, come la necessità di elevate dosi di azoto nella fase iniziale e centrale del ciclo per molte specie e, nel pomodoro, l'importanza del potassio durante la fruttificazione. Si sono delineate inoltre, anche se in modo piuttosto approssimativo, epoche, modalità e quantitativi da distribuire per esaltare le rese delle diverse colture, senza però porre particolari attenzioni alla qualità dei prodotti. Per quanto riguarda i macronutrienti, questi venivano apportati al terreno, con i tradizionali concimi solidi, in un unico momento (es. fosforo e potassio) o frazionati in pochi interventi (azoto e talvolta potassio) in dosi anche molto elevate adottando la opinabile filosofia che se uno fa bene due faranno meglio. Questa tecnica ha consentito il raggiungimento delle rese più elevate in considerazione al fatto che, difficilmente, in pieno campo, si possono raggiungere concentrazioni saline tanto elevate da arrecare danni alle piante. E' però opportuno tenere in considerazione che dosi eccessive di alcuni nutrienti possono arrecare contrazioni anche consistenti delle produzioni e/o loro peggioramento qualitativo (es. azoto),

inquinamento ambientale (es. azoto e fosforo) e, sicuramente, in ogni caso, aggravio dei costi di produzione.

Anche al momento attuale l'obiettivo della concimazione è quello di ottenere elevati quantitativi per unità di superficie, ma particolare e sempre maggiore attenzione è rivolta alle caratteristiche qualitative delle parti di pianta destinate all'alimentazione umana oltre che al rispetto dell'ambiente.

La concimazione azotata, in particolare, è senza dubbio una pratica agronomica che permette di sfruttare le potenzialità produttive delle colture agrarie date le evidenti risposte vegeto-produttive che ne derivano. Tuttavia a questa pratica sono connesse numerose problematiche sia di carattere tecnico-applicativo sia legate ad aspetti salutistici del prodotto finale che così tanto interessano il consumatore moderno. Nel caso di colture a ciclo breve, come lo è per molti ortaggi, (insalate, cavoli, zucchine, ravanelli, ecc.) il momento di somministrazione della concimazione passa in secondo piano, come misura di contenimento delle perdite per dilavamento dei nitrati rispetto al rischio, ben maggiore, di un irrazionale eccesso di nitrati, spesso ricorrente in questo tipo di colture.

La tecnica della fertirrigazione, attualmente già impiegata nelle colture di serra (in terra e fuori-suolo) e in rapida diffusione anche per le ortive di piena aria, appare particolarmente interessante ai fini di una limitazione dell'impatto ambientale legato alle concimazione delle colture ortive.

La dose di azoto deve assicurare una giusta risposta produttiva: si tratta di stabilire gli obiettivi di produzione, quelli che conciliano al meglio la redditività della coltura per i produttori agricoli, l'approvvigionamento dei mercati secondo le esigenze dei consumatori e ridurre al minimo il rischio ambientale.

Occorre stimare i fabbisogni di azoto delle colture in base ai fabbisogni legati alle relative produttività, ed evitare eccessi clamorosi di concimazione azotata. Per una corretta ed efficiente gestione della concimazione in generale e della fertirrigazione in particolare, è necessario quindi, aver ben chiare alcune semplici nozioni di fisiologia delle piante, di climatologia, di chimica.

A questo proposito è opportuno ricordare che il buon esito della concimazione è strettamente legato ai meccanismi messi in atto dalla pianta per assorbire i diversi principi nutritivi, dalla loro specifica funzione fisiologica, dall'interazione pianta-clima e dalle caratteristiche chimico-fisiche dei fertilizzanti utilizzati. Non sembra quindi superfluo sottolineare che ogni specie presenta fabbisogni particolari di nutrienti, in rapporti determinati, variabili nell'arco del ciclo colturale in funzione della fase fenologica. Nel caso del pomodoro, ad esempio, per alcuni ricercatori sembra che, dopo 15 giorni dal trapianto, il rapporto tra i tre principali macroelementi (N:P:K) debba essere pari a 1:3:2, mentre all'allegagione del II-III grappolo questo viene spostato verso l'azoto (2:1:1.5) e, dopo l'allegagione e durante l'ingrossamento delle bacche del IV grappolo, l'elemento determinante sia il potassio, tanto che il rapporto ottimale sembra essere 1:2:3. In altre ricerche, invece, si sono riscontrati i risultati migliori quando, la coltivazione è stata interessata, durante la fase vegetativa (dal trapianto all'inizio della produzione) e quella produttiva (dall'inizio alla fine della raccolta), da rapporti tra i macroelementi pari a 1:1:1 e 1:0.5:1.5 rispettivamente. Molti autori hanno dimostrato che la distribuzione dei fertilizzanti mediante i sistemi di irrigazione a basso volume, direttamente a livello della zona di massima attività

radicale aumenta la produzione e l'efficienza d'uso dei nutrienti in svariati ambienti pedoclimatici e per diverse colture (Bar-Yosef, 1999; Papadopoulos, 2000; Nkoa et al., 2001; Salo et al., 2002; Hebbar et al., 2004; Singandhupe et al., 2004). Lemaire e Salette (1984b) hanno sviluppato il concetto di concentrazione critica di N nella biomassa epigea (%Ncrit) che corrisponde, in un dato momento del ciclo colturale, alla concentrazione minima di N necessaria a raggiungere il massimo accumulo di sostanza secca; la curva critica dell'N determinata statisticamente sulla base di dati sperimentali (Justes et al., 1994) rappresenta un importante punto di riferimento per ciascun stadio fenologico ed ambiente e permette di discriminare lo stato azotato della pianta sovraottimale (la concentrazione attuale di N è maggiore a quella sufficiente a massimizzare la produzione di biomassa) o subottimale, rispetto al ritmo di crescita. Tei et al., 2002 hanno inoltre definito la curva di azoto critico per il pomodoro da industria ($\% \text{ total-Ncr} = 4.28 \text{ DW exp}(-0.324)$), in analogia con quanto proposto da Lemaire e Gastal (1997) per le specie C3. La curva riportata da Tei et al. (2002) rappresenta una delle conoscenze di base per modellizzare la crescita colturale e predire i fabbisogni di azoto del pomodoro da industria durante il ciclo. Sulla base di tale curva, in funzione dello stato nutrizionale delle piante in ogni momento del ciclo si potrà aggiustare la dose di azoto, ottimizzandone così l'uso e riducendo i rischi ambientali della concimazione (Greenwood, 2001; Le Bot et al., 1998).

Sempre a proposito della fisiologia della nutrizione è noto che, quando l'apparato radicale della pianta assorbe anioni, si osserva un innalzamento dei valori del pH della soluzione circolante nel terreno, mentre nel caso dell'assorbimento di cationi si osserva un'acidificazione della stessa. Tali variazioni del pH, anche se non raggiungono valori tali da danneggiare l'apparato ipogeo, influenzano fortemente la disponibilità degli elementi presenti nel mezzo di coltura. Si può, infatti, ricordare il caso dell'eccessivo assorbimento di azoto ammoniacale che induce un abbassamento del pH con conseguente notevole aumento della disponibilità di micronutrienti (Mn, B, Zn, Cu). Le dirette conseguenze di tale processo possono essere evidenziate da eccessivo assorbimento di tali micronutrienti che possono risultare tossici per la pianta oltre che all'instaurarsi di fenomeni di antagonismo tra i nutrienti stessi. E', inoltre, opportuno tenere presente che, con la fertirrigazione, si innalza sempre la concentrazione salina della soluzione circolante nel terreno che presenta già una sua carica di sali e, quando a questa dotazione si aggiunge la salinità dell'acqua di irrigazione, si possono raggiungere valori superiori a quelli del succo cellulare delle radici. In questo caso viene ostacolato il meccanismo di assorbimento osmotico dell'acqua e, in casi estremi, si può innescare un processo per cui i tessuti radicali non sono più in grado di assorbire l'acqua dalla soluzione del terreno con danni anche irreversibili per la pianta. Per tale motivo particolare attenzione andrà riservata all'uniformità di distribuzione dell'acqua, alla precisione nell'apporto dei fertilizzanti oltre alla capillare conoscenza delle concentrazioni saline dei diversi componenti l'intervento.

L'ambiente pedoclimatico

Nei confronti dei fattori climatici dell'ambiente in cui si opera, può essere sufficiente ricordare le condizioni drasticamente diversificate che si riscontrano tra le coltivazioni praticate in pieno campo e quelle in ambiente protetto. In quest'ultimo caso, infatti, la pianta viene allevata in condizioni termiche più favorevoli nei periodi freddi, con umidità relativa dell'aria condizionabile quando troppo bassa e radiazione

luminosa ridotta nei periodi di maggiore irraggiamento. Ciò consente di avere produzioni maggiori, cicli colturali particolarmente accelerati, con piante che presentano rapporto tra parte epigea e ipogea sempre più alto nei confronti di quelle coltivate all'aperto. Il tutto comporta notevole incremento dei consumi idrici e maggiori asportazioni di elementi nutritivi dal terreno sia sotto il profilo quantitativo che della velocità di assorbimento. Per il soddisfacimento di tali richieste, dal momento che successioni razionali sotto il profilo esclusivamente agronomico, spesso non sono più adottabili, si ricorre, frequentemente, a somministrazioni anche esagerate di concimi e fitofarmaci che tendono ad accumularsi nel mezzo di coltura in concentrazioni tali da facilitare insorgenze di fenomeni di fitotossicità. In questo momento, al fine di ovviare alla manifestazione di tali eventi negativi, sarà necessario conoscere le caratteristiche chimico-fisiche del terreno su cui si opera, al fine di ricavare le indicazioni più opportune per l'apporto degli elementi nutritivi, sia con la concimazione tradizionale solida che con la fertirrigazione. Grazie alla fertirrigazione, superando il classico approccio fondato sulla concimazione di base o di impianto integrata da quella di copertura, è possibile modulare la distribuzione dei fertilizzanti in relazione alle esigenze della coltura e mantenere il contenuto degli elementi nutritivi del terreno prossimo a quello ottimale. Razionalizzando l'apporto di acqua e concimi alle piante attraverso l'abbinamento dell'irrigazione e della concimazione, si ottiene inoltre un risparmio di risorse idriche e di concime distribuito, per cui si consegue una notevole riduzione dei costi di produzione e si registra un minor impatto ambientale riferibile all'inquinamento delle falde acquifere (Hartz e Hochmuth, 1996; Pardossi e Delli Paoli, 2003). Per queste ragioni, la fertirrigazione presenta un'alta efficienza d'uso del fertilizzante azotato.

I principali vantaggi della fertirrigazione possono dunque essere riassunti come segue:

- maggiore flessibilità di distribuzione dell'acqua e dei fertilizzanti;
- riduzione delle fluttuazioni della disponibilità di nutrienti nel corso del ciclo colturale;
- precisa ed adeguata applicazione dei nutrienti rispetto ai fabbisogni della coltura;
- applicazione dell'acqua e dei fertilizzanti limitati al volume di terreno esplorato dalle radici;
- nessuna necessità di distribuire concimi manualmente o meccanicamente con gli spandiconcime (risparmio di lavoro e di spese di distribuzione).

Gli aspetti negativi principali sono collegati a:

- limitazione alle sole coltivazioni irrigue;
- necessità di un impianto di irrigazione più perfezionato e costoso;
- interventi di irrigazione non strettamente necessari ma effettuati a sola funzione concimante;

- perdite per dilavamento e volatilizzazione a causa di impianti irrigui inefficienti o di particolari condizioni chimiche del terreno che favoriscono la volatilizzazione dell'ammoniaca.

Praticare una concimazione controllata e mirata è diventata sempre più una necessità che può essere soddisfatta facendo ricorso alla fertirrigazione.

Purtroppo, tale tecnica è spesso gestita in maniera empirica sia negli aspetti irrigui che per la nutrizione minerale, tanto da impedire il pieno sfruttamento delle sue potenzialità (Battilani, 2001).

Dopo quanto esposto, appare evidente che, per il buon esito di una concimazione in grado di consentire il raggiungimento di rese elevate e con il minore impatto ambientale, è necessario soddisfare le esigenze nutrizionali della pianta nel momento in cui queste si verificano e, di conseguenza, fondamentale importanza deve essere attribuita all'identificazione dello stato nutrizionale della coltura. Per tale scopo assume un ruolo fondamentale considerare ciò che determina il fabbisogno nutrizionale delle colture e quali sono i metodi per ottimizzare il soddisfacimento di tali esigenze.

I fabbisogni di elementi nutritivi delle singole specie rappresentano una caratteristica genetica strettamente connessa con la potenzialità produttiva della cultivar presa in considerazione.

I metodi per la valutazione dei reali fabbisogni nutrizionali della coltura possono essere sia distruttivi che non distruttivi. I primi, tipo "Kjeldhal-Ulsh" per la determinazione dell'azoto organico nei tessuti o "Cataldo" per l'analisi dei nitrati contenuti nei tessuti vegetali, richiedono personale qualificato e strumentazioni costose; i secondi si avvalgono di strumenti di diagnosi ottica quali Minolta Chomameter Cr-200, Minolta SPAD-502 Chlorophyllmeter e Multispectral Radiometer Cropscan MSR-87 in grado di determinare i contenuti di azoto e clorofilla utilizzando la rifrazione luminosa (Kimura et al., 2004; Bullock e Anderson, 1998; Castelli et al., 1996). Alcuni autori hanno messo in luce l'efficacia dell'impiego dello SPAD (Figura 32), individuando la sua attitudine all'impiego per una rapida diagnostica dello stato nutrizionale (Vos e Bom, 1993; Dalla Costa et al., 1999; Gianquinto et al., 2001), ma sottolineano l'importanza di stabilire valori soglia per una ottimizzazione dinamica della fertilizzazione azotata. Recentemente sono stati sviluppati anche alcuni software, quali per esempio "FERTIRRIGERE", caratterizzati da database contenente una serie di parametri climatici che permettono un efficace controllo dei consumi idrici e nutritivi. Oltre ad individuare quali siano i reali fabbisogni della coltura è altresì importante stimare la riserva idrica del suolo, per sapere quando intervenire in maniera efficace con interventi irrigui e in che dosi. Il TDR (Riflettometria nel Dominio del Tempo) è un metodo relativamente nuovo per la misurazione dell'acqua nel terreno. Sviluppato per la prima volta da Davis e Chudobiak nel 1975, si basa sul concetto che la costante dielettrica del suolo E_0 è influenzata dal contenuto di acqua del suolo stesso (O_v). E_0 a sua volta si può stimare misurando la velocità di propagazione di un'onda elettromagnetica lungo una linea di trasmissione. Questa tecnica consente di rilevare la permittività apparente del suolo, da porre in relazione al contenuto d'acqua, attraverso la misura della velocità di propagazione di un segnale elettromagnetico convogliato in una linea di trasmissione inserita nel suolo (Pagliai, 1997).

Associando tutte le informazioni ottenute con i diversi metodi di indagine, si potrebbe sviluppare un protocollo per una gestione corretta e ottimale della fertirrigazione in pieno campo.



Figura 32 Cropscan a sinistra e SPAD meter a destra. Due strumenti per la stima del fabbisogno nutrizionale delle colture

La soluzione nutritiva

Altro aspetto particolarmente importante della fertirrigazione è poi la preparazione della soluzione fertilizzante che dovrebbe essere effettuata seguendo metodologie scientifiche che garantiscono il soddisfacimento delle esigenze della coltura (Tabella 50) e i requisiti tecnici dell'impianto utilizzato. Alcuni fertilizzanti non sono completamente solubili e una volta dissolti saranno ancora presenti nella soluzione piccole quantità di particelle solide, che potrebbero intasare i filtri o l'impianto di irrigazione. Le soluzioni devono essere lasciate riposare per un periodo sufficientemente lungo affinché le particelle non disciolte si depositino sul fondo del serbatoio. La dissoluzione di fertilizzanti colorati produce solitamente una soluzione colorata. Nel caso di fertilizzanti colorati rivestiti, alcuni dei materiali di rivestimento potrebbe rimanere in sospensione e formare uno strato superficiale che dovrebbe essere rimosso prima dell'iniezione.

Tabella 50 Asportazioni (kg/t) di azoto, fosforo e potassio per tonnellata di prodotto in colture orticole (Tesi e Lenzi, 2005)

Specie	Asportazioni (kg/t prodotto)			Rapporti
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
Anguria	1.7	1.3	2.7	1 : 0.8 : 1.6
Asparago ⁽²⁾	25.0	7.0	22.5	1 : 0.3 : 0.9
Bietola da coste	6.0	3.0	6.0	1 : 0.5 : 1.0
Bietola da orto	2.5	0.8	4.6	1 : 0.3 : 1.8
Carciofo	9.7	1.6	13.0	1 : 0.2 : 1.3
Carota	4.0	1.7	6.0	1 : 0.4 : 1.6
Cavolfiore	4.0	1.6	5.0	1 : 0.4 : 1.2
Cetriolo	1.6	0.8	2.6	1 : 0.5 : 1.6
Cipolla	3.0	1.2	4.0	1 : 0.4 : 1.3
Fagiolino	7.5	2.0	6.0	1 : 0.3 : 0.8
Fragola	8.8	3.4	14.2	1 : 0.4 : 1.6
Lattuga	2.2	1.0	5.0	1 : 0.4 : 2.3
Melanzana	5.4	2.1	5.9	1 : 0.4 : 1.1
Melone	5.8	2.2	7.7	1 : 0.4 : 1.3
Patata	6.2	1.2	9.3	1 : 0.4 : 1.5
Pomodoro mensa (pien'aria)	2.7	0.6	3.7	1 : 0.2 : 1.4
Pomodoro mensa (serra)	3.6	0.6	7.2	1 : 0.2 : 2.0
Pomodoro da industria	2.8	0.8	4.0	1 : 0.3 : 1.4
Peperone	3.7	1.0	5.0	1 : 0.3 : 1.4
Pisello	12.5	4.5	9.0	1 : 0.4 : 0.7
Sedano	6.5	2.5	10.0	1 : 0.4 : 1.5
Spinacio	4.7	1.7	5.0	1 : 0.4 : 1.1
Zucca da inverno	2.4	1.0	6.6	1 : 0.4 : 2.8
Zucca da zucchini	6.3	1.9	16.5	1 : 0.3 : 2.6

Poiché la maggior parte dei processi di dissoluzione sono endotermici (cioè consumano energia), il raffreddamento della soluzione durante lo scioglimento del fertilizzante è un fenomeno che si nota bene. Quando si dissolvono dei fertilizzanti in concentrazioni relativamente elevate oppure quando si usa acqua molto fredda,

questo processo di raffreddamento può provocare una precipitazione della soluzione. In questo il caso, il coltivatore dovrebbe evitare le soluzioni troppo concentrate, usare acqua calda se possibile oppure aumentare la diluizione. Per la preparazione della soluzione nutritiva dovrà essere considerata la dotazione chimica dell'acqua e le specifiche esigenze della specie coltivata in relazione alla fase fenologica, oltre ai fattori climatici e alle caratteristiche chimiche e fisiche del terreno o substrato di coltivazione. In primo luogo è necessario procedere alla correzione degli elementi chimici eventualmente presenti nell'acqua di irrigazione e del pH, con l'ausilio dei concimi, degli acidi o basi più adatti. La sequenza delle diverse fasi di calcolo e la preparazione delle soluzioni concentrate è ben definita: la prima operazione da effettuare è la neutralizzazione dei bicarbonati normalmente ottenuta con l'aggiunta di acido nitrico, fosforico o solforico che oltre a provocare un abbassamento del pH apporta anche nutrienti in relazione all'acido utilizzato. In secondo luogo si procederà all'integrazione degli elementi nutritivi utilizzando concimi preferibilmente semplici ma anche composti (granulari, polverulenti o liquidi) seguendo scrupolosamente le priorità di seguito riportate:

1. Calcio
2. Ammonio
3. Fosfati
4. Nitrato
5. Potassio
6. Magnesio/solfati
7. Ferro
8. Manganese
9. Boro
10. Zinco
11. Rame
12. Molibdeno

Quando sono presenti nella stessa soluzione, determinati elementi interagiscono tra loro per formare altre sostanze. In molti casi, le sostanze che si formano possono ostruire l'impianto di irrigazione. Le interazioni più comuni sono:

1. i fertilizzanti che contengono fosfati generalmente interagiscono con il ferro, il calcio o il magnesio per formare precipitati che sono difficili da disciogliere.
2. i fertilizzanti che contengono polifosfati possono interagire con il calcio ed il magnesio per formare sospensioni gel.
3. i fertilizzanti che contengono solfati interagiscono con il calcio per formare il gesso.

4. le soluzioni alcaline (come l'urea) aumentano il pH della soluzione e spingono il calcio ed i bicarbonati alla formazione del calcare.

L'analisi dell'acqua può contribuire ad identificare dove è probabile che si possa verificare un problema e, ove necessario, l'acqua deve essere trattata prima dell'aggiunta del fertilizzante.

Mentre per il calcolo della soluzione nutritiva destinata alla coltivazione in fuori suolo, il ruolo principale è svolto dalle esigenze della coltura e dalle dotazioni dell'acqua di irrigazione, quando si opera su terreno entrano poi in gioco altri parametri che esulano dal puro calcolo matematico e che rendono la gestione della fertirrigazione più difficoltosa.

Devono essere prese in considerazione tutte le forze che entrano in gioco nel rendere disponibili i nutrienti (es. contenuto di s.o., lisciviazione, potere colloidale, CSC, pH, EC, ecc.) al fine di poter stimare i quantitativi più opportuni da apportare.

I sistemi di distribuzione

Una volta calcolata e preparata la soluzione nutritiva, sia nel caso di colture in pieno campo che protette ed in fuori suolo, essa deve essere distribuita e somministrata alle colture. Per fare ciò c'è una serie di attrezzature che in maniera più o meno tecnologicamente sofisticata effettuano tale operazione.

Gli elementi principali sono quelli di un impianto d'irrigazione, ai quali si aggiungono le attrezzature ed i dispositivi per la preparazione e la gestione della soluzione nutritiva, come le vasche, le valvole ed i dosatori.

In sintesi tali dispositivi si possono suddividere come di seguito (Figura 33):

Dispositivi di pompaggio e adduzione;

Dispositivi di filtraggio;

Dispositivi per la gestione ed il dosaggio delle soluzioni nutritive;

Dispositivi di erogazione della soluzione nutritiva;

Dispositivi di controllo ed automazione dei turni irrigui.

In relazione all'approvvigionamento idrico che può provenire da pozzi scavati nel sottosuolo o da invasi superficiali vengono utilizzate elettropompe sommerse ad asse verticale o elettropompe centrifughe ad asse orizzontale o verticale di cui sono da considerare la portata (L/min o m³/h), la prevalenza e la potenza assorbita. I dispositivi di filtraggio vengono posizionati subito dopo il sistema di pompaggio e garantiscono l'eliminazione delle impurità presenti nell'acqua che possono compromettere la funzionalità degli erogatori. Generalmente vengono utilizzati "idrocloni", filtri a graniglia a cui si abbinano, per migliorare il filtraggio, dispositivi secondari a schermo (rete o dischi lamellari). Tra le apparecchiature utilizzate per l'immissione dei concimi nelle linee distributrici si evidenziano i sistemi a pressione differenziale (miscelatore) con un serbatoio, contenente il fertilizzante nella forma solida o liquida, attraverso il quale viene fatta passare l'acqua di irrigazione.

La chiusura parziale della valvola di immissione dell'acqua nel serbatoio, permetterà di creare una differenza di pressione tra la valvola ed il serbatoio dosando quindi il concime. Gli svantaggi principali di questo metodo sono che la concentrazione del fertilizzante nell'acqua di irrigazione non è uniforme (diminuendo con la durata della fertirrigazione) e che il serbatoio deve essere riempito di fertilizzante ogni volta. E' un sistema adatto per piccoli impianti, senza una fonte di energia che necessitano di un apparato portatile. I sistemi con miscelatore ad eiettore (tubo venturi) generano un'aspirazione; la soluzione fertilizzante viene succhiata e veicolata nel flusso dell'acqua di irrigazione. La costruzione del dispositivo è semplice ed i costi d'acquisto sono relativamente bassi. L'energia idraulica assorbita per il suo funzionamento è alta e richiede una pressione elevata. Poiché il dispositivo è molto sensibile alle variazioni di pressione, dovrebbe essere impiegato solo nelle situazioni in cui le condizioni di funzionamento dell'impianto sono conosciute e stabili. Nei sistemi con pompa ad iniezione, le pompe iniettano la soluzione fertilizzante, aspirandola da un serbatoio aperto (non a pressione), nell'acqua di irrigazione con una pressione più elevata rispetto alla prevalenza nel punto di innesto. L'uso delle pompe permette una gestione completa dei quantitativi e della temporizzazione del fertilizzante. Sono adatte sia per il funzionamento manuale che l'automazione più avanzata. Le pompe sono disponibili in una vasta gamma di principi di funzionamento ed alimentazione. Gli ultimi due sistemi elencati sono da preferire in quanto garantiscono una migliore miscelazione degli elementi. Per la gestione dei turni irrigui e di fertilizzazione possono essere utilizzati semplici temporizzatori, o nei sistemi più complessi, programmatori in grado di gestire l'irrigazione in funzione di parametri ambientali quali la luminosità, o colturali quali il livello di umidità del suolo e la percentuale di drenaggio.



Figura 33 Particolare di gruppo di filtraggio e iniezione della soluzione nutritiva per la fertirrigazione in pieno campo e di contenitori per soluzione nutritiva concentrata in ambiente protetto

Conclusioni

In conclusione si può affermare che la fertirrigazione rappresenta uno strumento potenzialmente molto utile nei sistemi produttivi intensivi, come quello orticolo, sia dal punto di vista tecnico che da quello ambientale. Una fertirrigazione ben eseguita permette di ottenere buone rese e produzioni di qualità, permettendo di ridurre gli input con conseguenti risparmi economici e riduzione dell'impatto ambientale favorendo la sostenibilità delle produzioni. A tal fine la fertirrigazione è da considerarsi certamente un utile strumento per la realizzazione di una concimazione razionale ed equilibrata. Essendo però l'orticoltura in Italia caratterizzata dalla produzione di numerose specie, talvolta molto diverse tra di loro, in ambienti pedoclimatici e con sistemi colturali diversissimi, risulta molto difficile mettere a punto strategie generalmente applicabili. Se un primo approccio alla fertirrigazione può avvenire in maniera semplice ed approssimativa e senza il ricorso ad investimenti eccessivi, un vero e proprio salto di qualità potrà essere fatto solo dopo anni di esperienza da parte degli agricoltori e con il contributo della sperimentazione. Carenti risultano ancora le informazioni relative alle specifiche esigenze nutrizionali di molte specie (non sempre di minore importanza) che risultano assai variabili in rapporto ai livelli delle rese, all'indice di raccolta, alla durata del ciclo e, soprattutto, alle interazioni fra nutrienti, suolo e pianta.

La gestione climatica della serra, con particolare riguardo all'azione dei fattori luce, temperatura, CO₂

C. Stanghellini*

Wageningen University and Research Center, Gruppo Greenhouse Horticulture, Wageningen, Paesi Bassi * cecilia.stanghellini@wur.nl

Riassunto⁶

Lo scopo di una serra è di garantire un microclima piú favorevole alla produttività di quello che ci sarebbe in campo aperto. In questo capitolo si comincia con una rassegna breve di quello che si sa a proposito dell'effetto dei fattori climatici principali sui processi che determinano la produzione vegetale, con attenzione particolare a eventi sporadici di temperature non-ottimali, sui processi produttivi a corto e medio termine.

Nella sezione successiva si esamina l'effetto della presenza di una copertura (e delle sue proprietà fisiche) sulla temperatura nella serra. Si dimostra che l'analisi dei flussi di energia rende possibile di separare la temperatura all'interno di una serra passiva in due componenti indipendenti: una che è funzione esclusivamente delle proprietà termiche e radiative della copertura, e l'altra solo del tasso di ventilazione. Per garantire le massime possibilità di gestione ambientale, le proprietà fisiche della copertura devono essere selezionate in base all'analisi del clima. La gestione della temperatura a breve termine avviene attraverso la regolazione delle aperture di ventilazione, la cui ampiezza, posizione, tipo ecc è stata determinata in fase di disegno sulla base delle condizioni peggiori.

Particolare attenzione viene data all'effetto di una ventilazione limitata sulla concentrazione di anidride carbonica all'interno, ed alle sue conseguenze in termini di produttività. La sezione successiva è dedicata all'analisi dei criteri fondamentali per una valutazione economicamente corretta del binomio serra attiva-serra passiva.

Infine, dopo una breve discussione dei fattori critici di successo di una azienda orticola, si fa notare che la gestione ambientale anche se non è probabilmente il piú importante di questi fattori, è sicuramente uno con un grosso effetto sui costi di produzione. Quindi è importante il disegno e la selezione dei materiali della serra in modo da garantire il miglior compromesso fra ambiente ottimale e risorse necessarie per la gestione.

Introduzione

La serricoltura olandese è leader nel mondo, in termini di tecnologia, controllo ambientale, innovazione e produttività. La superficie serricola è rimasta abbastanza costante negli ultimi 25 anni (circa 11000 ha), e tuttavia la produttività e il valore si sono moltiplicati, fino a raggiungere, grazie all'applicazione di tecnologie sempre piú avanzate, un valore del prodotto superiore a 667,000 €/ha all'anno, medio su tutto il settore. Attualmente l'investimento in una serra nuova eccede il milione di € per ettaro. Non sottovalutiamo il fatto che, con costi di produzione intorno al 90% del

⁶ Questo capitolo è un adattamento e aggiornamento dell'articolo di review: C. Stanghellini & E. Heuvelink, 2007. Coltura e clima: effetto microclimatico dell'ambiente serra. *Italus Hortus*, 14(1): 37 – 49.q

prodotto lordo, la serricoltura olandese deve la sua redditività ai vantaggi competitivi di cui gode, in primis i prezzi elevati che ottiene sul mercato internazionale la sua produzione di alta qualità, certificata ed affidabile. Per esempio, il prezzo medio di asta del peperone olandese nel 2007 è stato maggiore di 0.70 €/kg al prezzo di quello coltivato in Almeria. Le maggiori spese di trasporto da Almeria alla Germania (che è il mercato di esportazione principale sia degli Olandesi che degli Spagnoli) non giustificano più di 0.20 €/kg di differenza.

Tuttavia, ovunque si siano costruite serre “all’Olandese” in Paesi meno avanzati (e spesso con sussidi governativi), la produttività che si è ottenuta è di molto inferiore ai valori citati. Stanghellini (2004) e Luo e Stanghellini (2005) hanno dimostrato che sebbene il disegno delle serre “Venlo”, grazie alla sua lunga evoluzione, possa essere ben adattato alle attuali condizioni olandesi, non ci si può aspettare che abbia la stessa performance se applicato in altre condizioni climatiche e di mercato. Quindi è necessario tornare ai principi di base, per determinare la configurazione “ottimale” in condizioni date, in modo di permettere all’industria serricola di adattare le strutture di protezione alle condizioni locali. Allo stesso tempo, questo dovrebbe aiutare l’operatore a stimare più realisticamente il potenziale produttivo (in coltura protetta) di una certa zona.

La coltura

I processi produttivi di una pianta dipendono in larga parte dalla temperatura. In generale la velocità di una reazione aumenta con la temperatura, fino ad un massimo oltre il quale la reazione non avviene più, per esempio a causa della degenerazione di una proteina che è essenziale per la reazione, intendendo per degenerazione la perdita della forma e delle proprietà di una molecola. Anche se degenerazioni estreme non sono comuni nelle colture in serra, i vari processi produttivi hanno differenti valori “ottimali” della temperatura, e la temperatura “ideale” rimane un concetto elusivo.

Assimilazione netta

Un esempio è la differenza di sensibilità alla temperatura della fotosintesi e della crescita degli organi in cui si accumulano gli assimilati. La fotosintesi è relativamente insensibile alla temperatura in un dato range, per esempio fra 17 e 24°C nel pomodoro. La redistribuzione degli assimilati, invece, è molto sensibile alla temperatura. Con una temperatura relativamente bassa, quindi, lo sbilancio fra produzione e redistribuzione degli assimilati ne provoca un accumulo nelle foglie. Se la capacità d’immagazzinamento è sufficiente, questo si risolve appena la temperatura aumenta. In piante piccole o con periodi prolungati di bassa temperatura, però, l’accumulo di assimilati limita l’espansione fogliare, determinando foglie più spesse come nel pomodoro (Heuvelink, 1989; Venema et al., 1999). Ciò ha un effetto negativo, soprattutto in colture giovani, perché riduce l’intercettazione della luce e quindi la fotosintesi. Nella fase iniziale della coltura, pertanto, una gestione corretta della temperatura è essenziale.

La respirazione, in particolare la respirazione di mantenimento, dipende direttamente dalla temperatura. A basse temperature il tasso di respirazione è più basso. D’altra parte, la formazione di organi (foglie, steli, frutti) più “spessi” a basse temperature, causa un incremento della respirazione per m² di coltura (a causa della maggiore biomassa presente). Il risultato di questi due effetti opposti è che a lungo termine la

respirazione è meno sensibile alla temperatura di quello che in teoria si potrebbe pensare.

Sviluppo vegetativo

Lo sviluppo vegetativo (la differenziazione di nuove foglie), invece, reagisce linearmente alla temperatura in un ampio range (per esempio 17–27°C). Nel pomodoro, per esempio, si usa molto la “regola del pollice”, secondo la quale a 20°C si genera un grappolo (quindi 3 foglie) per settimana, a 16°C sono 0,8 grappoli per settimana e a 24°C sono 1,2. Sempre nel pomodoro, D e Koning (1994) ha osservato che, per quanto la velocità di differenziazione delle foglie cambi nelle varie cultivar, l'effetto di un incremento/decremento della temperatura è lo stesso. Il numero di foglie dipende quindi direttamente dalla temperatura media. La distanza internodale, invece, è soprattutto determinata dalla differenza fra temperatura diurna e notturna (DIF): un DIF alto risulta in una maggiore distanza internodale (Heuvelink, 1989). La lunghezza di una pianta dipende quindi sia dalla temperatura media (numero di unità vegetative) che dalle variazioni intorno alla media (lunghezza di ciascuna unità). La vitalità (numero di laterali e di fiori) invece è determinata dalla quantità di zuccheri presenti e, in definitiva, dalla luce disponibile, attraverso la fotosintesi.

Allegazione e crescita dei frutti

Una bassa temperatura ritarda la differenziazione delle foglie e quindi anche la velocità con cui si generano nuovi fiori/grappoli nel pomodoro. Inoltre, temperature fuori del range 10–30°C (i limiti esatti dipendono dalla cultivar) sono dannose a uno o più dei processi necessari per una buona allegazione dei frutti. Molti autori hanno dimostrato che la produzione e lo sviluppo del polline è molto sensibile alla temperatura. La fertilità dei granelli di polline viene sensibilmente ridotta con temperature fuori dell'ampio range 5–37°C (Ho e Hewitt, 1986). L'effetto di basse temperature sull'allegazione è soprattutto attraverso la formazione di polline di bassa qualità. Janse (2003) ha quantificato l'effetto di basse temperature sporadiche sulla produzione di cetriolo, con un esperimento in cui utilizzò 20 compartimenti, tutti mantenuti alla temperatura media di 20°C. Nel trattamento di controllo applicò il regime standard commerciale, gli altri trattamenti avevano tutti una deviazione totale di 24 gradi-giorno, ottenuta con una media di 16°C per 6 giorni; di 12°C per 3 giorni e di 10°C per 2.5 giorni. Dopo il periodo freddo, la media giornaliera veniva alzata a 22°C, fino a che si era cumulata una deviazione opposta di 24 gradi-giorno. In un ulteriore trattamento la media di 16°C per 6 giorni è stata ripetuta dopo circa un mese. In ogni caso il periodo freddo ha causato una lieve riduzione di produzione, che però è stata compensata più tardi, e non vi sono state differenze significative nella produzione totale. I due regimi a più bassa temperatura hanno portato ad un aumento del numero di frutti, con conseguente perdita di qualità e aumento degli scarti. Janse ha osservato che una temperatura di 5°C provoca un danno irreversibile se è protratta per più di 6 ore. Durante il giorno già 8°C possono causare danni irreversibili.

Anche all'estremo opposto, sembra importante il bilancio luce/temperatura. Per esempio, in condizioni di bassa luminosità l'allegazione diventa quasi impossibile già a temperature medie eccedenti 20°C, mentre una simile temperatura sarebbe ideale per la crescita vegetativa. Peet et al., (1998), usando camere climatiche ad intensità di luce $550 \mu\text{mol mol}^{-2} \text{s}^{-1}$ per 12 ore, hanno osservato un effetto negativo sullo sviluppo del polline a regimi di temperatura di 30/24 e anche 32/26 °C (giorno/notte),

cioè temperature medie rispettivamente di 27 e 29 °C. Sato e Peet (2005) hanno dimostrato che, per quanto la sensibilità a vari regimi di temperatura possa cambiare fra cultivar, c'è comunque la tendenza a una riduzione della vitalità del polline innalzando la temperatura media del regime a 29°C. Il lavoro di Pressman et al., (2002) ha confermato che una temperatura media di 29°C influenza negativamente la vitalità del polline, cioè granelli formati a questa temperatura non sono in grado di fertilizzare gli ovuli che si erano formati a temperature più basse. La Tabella 51 dimostra che un certo stress si osserva nel pomodoro a partire da temperature medie di 25°C. Confrontando una temperatura media di 26°C (Peet et al., 1997) e 29°C (Pressman et al., 2002) con 25°C, si è osservato un minor numero di frutti, di peso ridotto e contenenti meno semi. Il valore medio del regime sembra più importante dell'ampiezza del ritmo, il che implica qualche meccanismo di compensazione. Inoltre, dato che il meccanismo principale sembra una bassa vitalità del polline, si può dedurre che le varietà partenocarpiche dovrebbero essere più tolleranti alle alte temperature (Rylski, 1979). La durata dello sviluppo del frutto, da fiore a frutto maturo, aumenta a basse temperature, similmente a quello che si constata per lo sviluppo vegetativo. Lo sviluppo complessivo di un frutto di pomodoro a 20°C è 8 settimane, mentre a 17°C ne occorrono 10 (De Koning, 1994). In generale una durata di sviluppo più lunga implica frutti più grossi, assumendo che il numero di frutti non cambi. Quest'effetto può essere modificato attraverso la manipolazione dei grappoli, della densità degli steli (o più piante per m² o più steli per pianta).

Tabella 51 Compilazione delle osservazioni sull'effetto di regimi di alta temperatura sul pomodoro. La perdita di produzione è in relazione al raccolto osservato a 25°C

Temperatura (°C)	Durata	Perdita di produzione (%)	Riferimento
42	6 ore	100	Heckathorn et al., 1998
40	4 ore per 9 giorni	100	Klueva et al., 2000; Iwahori, 1965; Sugiyama et al., 1966 Sato et al., 2000; Peet et al., 1998
35	Media per 30 giorni	40	Rivero et al., 2004
32/36	33 giorni	25	Sato et al., 2000; 2001; 2002
27	Media giornaliera	15	Peet et al., 1997
26	Media giornaliera	5	Peet et al., 1998

Distribuzione degli assimilati e produzione

Nelle colture a frutto, i frutti sono il principale “sink” di assimilati e quindi la loro presenza ne determina la redistribuzione/allocazione. Il contenuto di materia secca dei frutti diminuisce a temperature basse. Questo implica che a parità di disponibilità di assimilati, si produce più polpa. In condizione di disponibilità limitante di assimilati, De Koning (1994) ha osservato una diminuzione di circa 0,1 nel contenuto di materia secca (%) per ogni grado sotto 23°C (nel range 17–23°C). Assumendo che la variazione di temperatura in questo range non modifichi il peso secco dei frutti, con un contenuto di materia secca di 6% a 23°C, per esempio, una diminuzione di 5°C nella temperatura media significherebbe un aumento di circa 9% nel peso fresco dei frutti. Naturalmente sapore e qualità non ne godono! Con un apporto non limitante di assimilati de Koning non ha osservato effetti della temperatura sul contenuto di materia secca dei frutti. Le varie cultivar possono differire nel contenuto di materia secca in condizioni date. In definitiva, per quanto il raccolto nel pomodoro, per esempio, venga determinato in primo luogo dall'intercettazione cumulativa di luce e dalla allocazione degli assimilati (indice di raccolto), l'effetto della temperatura è ugualmente importante. Come detto, una temperatura bassa ritarda lo sviluppo vegetativo e quindi l'intercettazione della luce e di conseguenza la produzione di assimilati. Quest'effetto di feed-back è particolarmente negativo nelle fasi iniziali di una coltura. In aggiunta, basse temperature ritardano la maturazione dei frutti e quindi il raccolto.

In relazione ai fattori climatici, in conclusione, di tutti i processi alla base della produzione vegetale la fotosintesi dipende principalmente dalla quantità di luce disponibile, dalla concentrazione di anidride carbonica e, in misura minore, dalla temperatura; in tutti gli altri la temperatura è il fattore determinante. Solo ora si sta cominciando ad apprezzare anche l'effetto indiretto della fotosintesi sulla formazione di organi, attraverso l'influenza degli zuccheri sull'espressione di alcuni geni. Non è particolarmente inatteso che, in base alla rassegna appena fatta, si possa concludere che la buona gestione richiede condizioni di luce e anidride carbonica non limitanti per l'assimilazione e che la temperatura “ottimale” per la produzione della maggior parte delle colture ortive dovrebbe avere un marcato ritmo diurno ed essere contenuta nel range fra i 16-18 °C gradi notturni e i 20-25°C diurni (a seconda della luce disponibile). Ognuno dei fattori climatici può essere limitante, nel senso che la produzione viene limitata dal fattore più sfavorevole, indipendentemente dal valore assunto dagli altri fattori. Questo concetto, tutt'altro che intuitivo, doveva essere chiaro agli antichi romani, dato che l'imperatore Tiberio usava mangiare cetrioli che venivano “coltivati in ceste fornite di ruote, così che si potevano mettere facilmente al sole e trasportare dentro ripari trasparenti nelle giornate fredde” (Plinio, 77 A.C.).

La serra

Le cose non sono cambiate molto per circa 2000 anni. Infatti, fino a pochi anni fa l'unica modificazione ambientale possibile era migliorare le condizioni di temperatura, attraverso protezioni più trasparenti possibile, ed in questo il vetro è sicuramente stato un passo avanti rispetto alla mica dei romani. La temperatura che si riesce ad ottenere dentro una protezione trasparente dipende dal bilancio dei vari flussi energetici.

In una serra senza scambi di ventilazione con l'esterno, per esempio un tunnel ben chiuso (Figura 34), trascurando le perdite attraverso il terreno, il bilancio dei flussi di energia è:

$$\text{radiazione solare trasmessa} = \text{perdite per conduzione} + \text{perdite radiative}$$

o, in simboli:

$$\tau I_{sole} \cong UC_1(T_{in} - T_{out}) + \varepsilon C_2(T_{in} - T_{cielo})$$

dove I_{sole} è la radiazione solare; T_{in} , T_{out} e T_{cielo} sono rispettivamente la temperatura dentro, fuori e quella apparente del cielo (dipendente dalla temperatura e dall'umidità esterna); τ , U ed ε sono rispettivamente: la trasmissività, il coefficiente di trasmissione termica e l'emissività della copertura; e C_1 e C_2 sono coefficienti. La temperatura che si ottiene all'interno di questo tunnel ideale (la chiameremo T_{tunnel}) è quella che bilancia i flussi, cioè la soluzione dell'equazione. Come si può dedurre dall'equazione, T_{tunnel} dipende dalle condizioni meteorologiche (radiazione solare, temperatura e, in misura minore, umidità esterne) e dai tre parametri che descrivono le proprietà termiche e radiative della copertura.

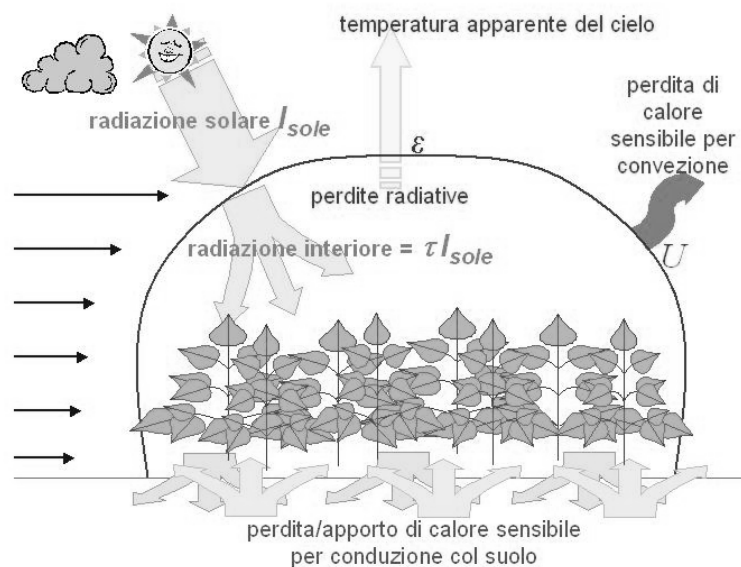


Figura 34 Illustrazione schematica dei flussi di energia entranti ed uscenti da una serra stagna. τ indica la trasmissività della copertura. Le perdite radiative dipendono dalle caratteristiche del materiale (emissività, ε) di copertura e dalla temperatura apparente del cielo, che a sua volta dipende dalle condizioni meteorologiche (principalmente temperatura e umidità)

Le caratteristiche del materiale di copertura che determinano la trasmissività totale sono illustrate in Figura 35 e nella Tabella 52 sono riportate le proprietà più rilevanti di alcuni materiali di copertura più comunemente usati.

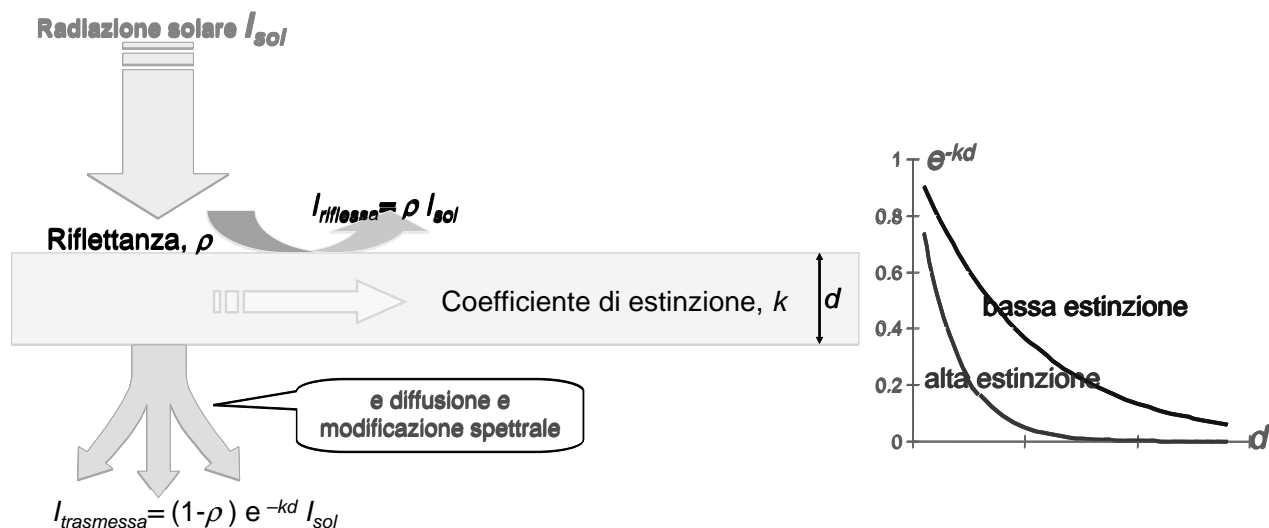


Figura 35 Descrizione schematica dell'azione della copertura sulla radiazione solare. I parametri del materiale che determinano la trasmissione della radiazione sono il suo spessore d , il coefficiente di estinzione k , e la riflettanza ρ , cioè la frazione di luce che viene riflessa dalla superficie. L'effetto combinato dello spessore e del coefficiente di estinzione è illustrato dal grafico in alto a destra

Tabella 52 Proprietà fisiche dei materiali usati più comunemente come copertura. Il coefficiente U è calcolato per una serra quadrata di 0,5 ha di superficie, con vento di 4 m/s, tenendo in conto un ricambio di perdite di 0,5 volumi/h. Per quel che riguarda le perdite radiative il polietilene (PE) è leggermente più sfavorevole degli altri materiali

Materiali	spessore	U ($W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$)	τ (%)
Vetro semplice	4 mm	8.8	82
Vetro doppio		5.2	67
PMMA (doppio)	16 mm	5.0	76
Policarbonato (doppio)	12 mm	4.8	61
PE semplice	200 μm	8.0	81
PE doppio		6.0	65

D'altra parte, in una serra perfettamente ventilata (con un numero elevato di ricambi d'aria) la temperatura sarebbe sempre uguale a quella esterna, indipendentemente dalla quantità di radiazione e dalle proprietà della copertura. Il tasso di ventilazione determina il valore della temperatura all'interno della serra, fra questi due estremi. Le caratteristiche della copertura, idealmente, dovrebbero essere tali da far sì che la temperatura che si vuole mantenere all'interno, per garantire buone condizioni per la coltura, si trovi in questo intervallo, così che la regolazione della ventilazione è sufficiente (Figura 36).

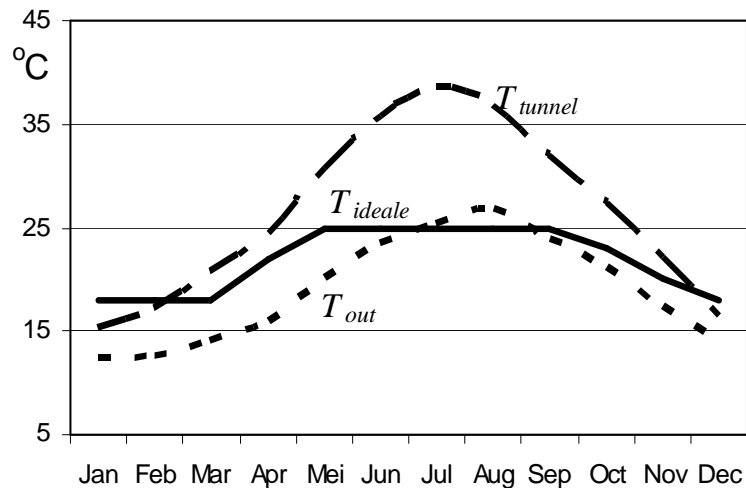


Figura 36 Andamento tipico delle temperature medie mensili: T_{out} rappresenta la temperatura esterna, T_{tunnel} rappresenta la temperatura all'interno di una copertura senza scambi di ventilazione e T_{ideale} è la temperatura ottimale per la coltura. T_{out} sono i valori medi di Gela, gli altri grafici sono solo un esempio. Una figura molto simile si applica anche all'andamento diurno della temperatura

Effetto della scelta delle proprietà termiche e radiative della copertura

La Figura 36 mostra un esempio piuttosto comune di quando questo non è possibile: nel periodo invernale (o durante la notte) anche senza ventilazione la temperatura può essere troppo bassa. La soluzione ovvia è di somministrare energia all'ambiente riscaldando. Però si può anche ottenere un innalzamento della temperatura "tunnel" modificandone le proprietà, per esempio la conducibilità termica (doppio strato) o l'emissività (schermo di alluminio). Il caso opposto si ha d'estate (o a metà giornata): la temperatura "ideale" può essere molto vicina, o addirittura minore, alla temperatura esterna. Si può dimostrare che la temperatura interna è data all'incirca da:

$$T_{in} \cong T_{out} + \frac{UC_1 + \varepsilon C_2}{UC_1 + \varepsilon C_2 + n(1 + C_3)} (T_{tunnel} - T_{out})$$

dove T_{out} è la temperatura esterna, C_3 è un fattore che tiene conto della differenza di umidità interna ed esterna (all'incirca contenuto fra 2 e 5) e n è il tasso di ventilazione (ricambi per ora). Come si vede dall'equazione, la diminuzione della temperatura in funzione del tasso di ventilazione è asintotica, come illustrato dalla Figura 37, cioè la temperatura si avvicina a quella esterna solo a tassi di ventilazione molto elevati. La ventilazione di una serra è comunque limitata, a maggior ragione quando ci siano reti anti-insetto ((Figura 38), serre di Almeria), e quindi quello che si fa spesso è cambiare le proprietà della copertura, in questo caso la trasmittanza (per esempio con l'imbiancatura estiva), in modo da abbassare la temperatura di partenza, e ottenere quindi temperature più basse a parità di ventilazione.

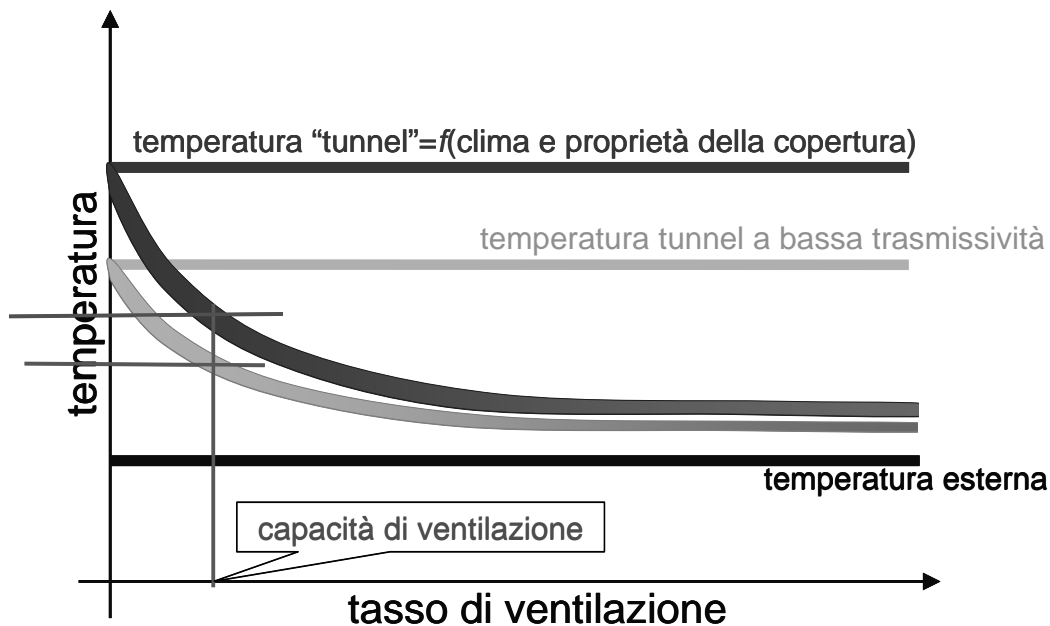


Figura 37 Andamento della temperatura all'interno della serra, in funzione del tasso di ventilazione. Le due curve rappresentano caratteristiche differenti della copertura, che determinano il valore di partenza (temperatura a tasso di ventilazione 0)

Naturalmente, dato che ridurre l'ingresso di luce all'interno della serra ha comunque un effetto negativo sulla fotosintesi, l'imbiancamento di una serra ne riduce la produttività. Si ricorre a questo perché le temperature elevate avrebbero un effetto ancor peggiore. Stanno cominciando adesso ad apparire sul mercato delle vernici speciali per imbiancamento che offrono buone prospettive sotto questo punto di vista. Il principio è semplice: la fotosintesi si avvale di luce di lunghezze d'onda (PAR = Photosynthetically Active Radiation) che rappresentano circa la metà dell'energia contenuta nella radiazione solare. L'altra metà, che è a lunghezze d'onda nell'infrarosso vicino (NIR = Near Infra-Red) contribuisce al riscaldamento della serra ed alla evapotraspirazione, ma non direttamente alla crescita vegetale. Un film che blocchi la radiazione NIR diminuisce il carico di energia della serra, ma non diminuisce la fotosintesi. I prodotti presenti sul mercato al momento sono purtroppo poco selettivi (e quindi assorbono molta radiazione foto sintetica e poca nel NIR) e quindi i vantaggi da aspettarsi son molto limitati.

Maggiori prospettive sembrano offrire i materiali di copertura diffondenti che, uniformando la distribuzione della radiazione sia orizzontalmente che verticalmente all'interno della serra, riducono il carico di energia degli strati superiori della coltura. In una prova recente col cetriolo (Dueck et al., 2009) la produttività sotto un materiale altamente diffondente è stata 9.2% più che nel controllo, nonostante la trasmissività fosse 3% più bassa.

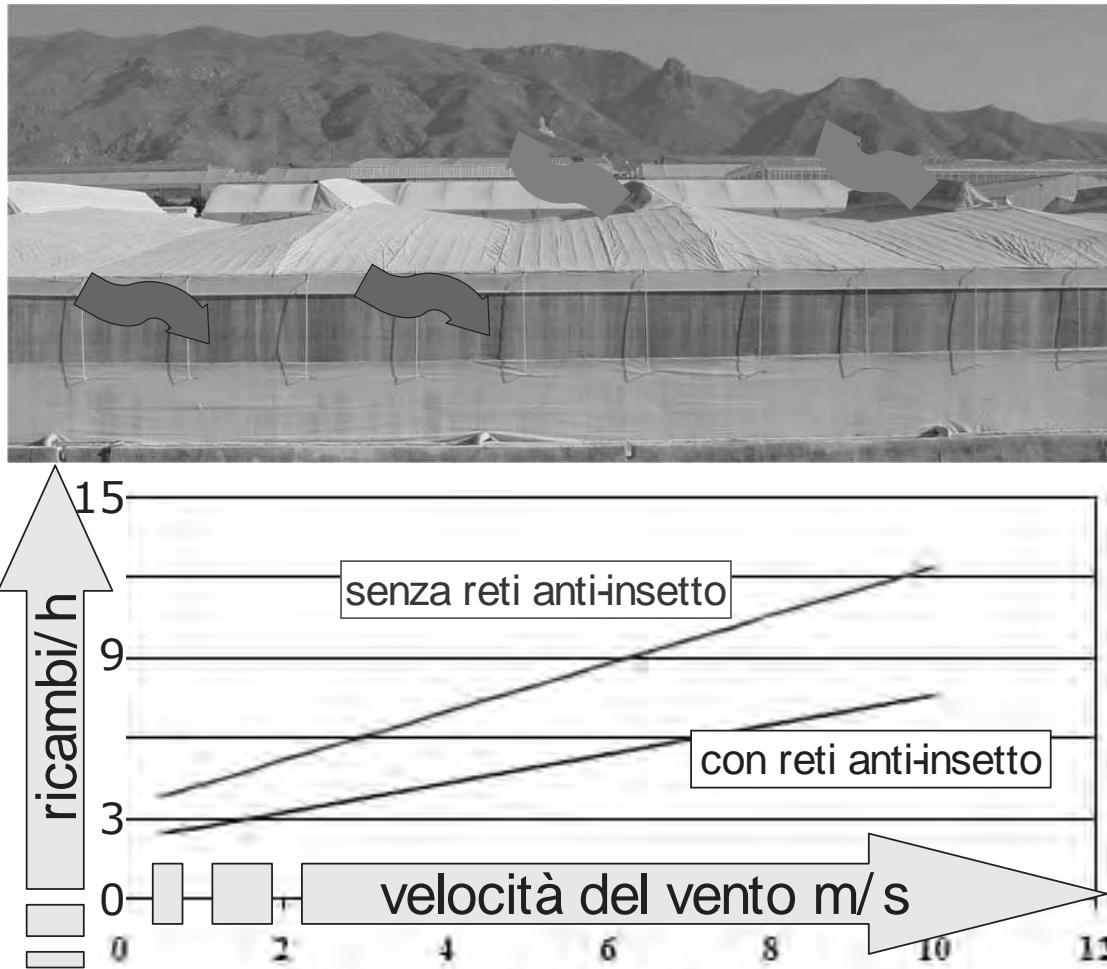


Figura 38 In alto: serre tipiche della zona di Almeria (SE Spagna), con aperture laterali e zenitali (entrambe munite di reti anti-insetto), in un periodo in cui era applicato l'imbiancamento. Le frecce indicano schematicamente l'andamento del flusso di ventilazione. In basso: effetto della velocità del vento e la presenza di reti anti-insetto sui ricambi d'aria delle serre mostrate sopra. Da Perez Parra, 2002

Effetto della progettazione delle aperture

Una volta stabilite le proprietà della copertura (e quindi T_{tunnel}), la serra deve essere progettata in modo da garantirsi la possibilità massima di controllo della temperatura attraverso la ventilazione, nell'intervallo $T_{out} - T_{tunnel}$. Come si deduce dall'equazione, questo equivale ad avere a disposizione un range molto esteso di valori del tasso di ventilazione n . Il tasso di ventilazione dipende all'incirca linearmente dalla velocità del vento e dalla superficie delle aperture. La quantità di energia che si riesce a dissipare (l'effetto raffreddante) ad un determinato tasso di ventilazione dipende non solo dalla differenza di temperatura fra l'interno ed esterno, ma anche dalla differenza di umidità, come si è visto nella equazione. Più secco è l'ambiente esterno e più alto è l'effetto raffreddante, sempre che la coltura sia fornita sufficientemente di acqua. Per la teoria si rimanda alla letteratura, dove si possono trovare lavori specialistici sul tema, anche relativi ad ambienti mediterranei (Mistriotis et al., 1997).

Quindi, una volta determinata la quantità di energia da dissipare nelle condizioni peggiori, la necessità di aperture può essere determinata se si conosce la velocità del vento in quelle condizioni. Per esempio, a Gela una serra deve avere più

aperture che in Almeria, come illustra la Figura 39. Infatti, se si assume che la quantità di ore mensili sia un buon indice della energia che va dissipata (Almeria e Gela sono all'incirca alla stessa latitudine), allora come si vede dal pannello di sinistra, a parità di ore di sole ad Almeria c'è più vento, quindi in teoria basta una minor superficie di ventilazione. La temperatura esterna, infatti, è molto simile nelle due località, come dimostra il grafico a destra in Figura 39. Non solo la superficie delle aperture, ma anche la loro geometria (roll-over o flap) è importante nel determinare l'efficienza di ventilazione. Per il caso specifico di Almeria Perez-Parra (2002) ha determinato l'imprescindibilità delle aperture laterali per ottenere una buona distribuzione di temperatura all'interno delle serre tipo "parral".

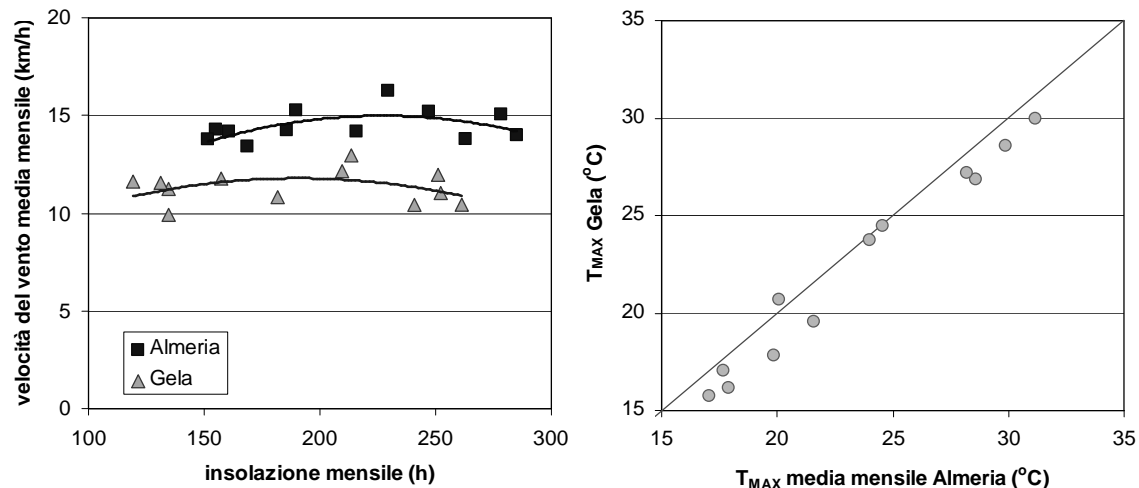


Figura 39 Grafico a sinistra: velocità del vento media vs le ore di sole mensili, a Almeria ed a Gela. Grafico a destra: media mensile delle temperature massime di Gela vs quelle corrispondenti ad Almeria

Inutile rimarcare che, per la regolazione precisa della temperatura è necessario che la capacità di ventilazione così stabilita possa anche essere utilizzata in maniera variabile, adattando continuamente il tasso di ventilazione (l'apertura) alle condizioni meteorologiche esterne, in funzione della temperatura che si vuole ottenere dentro la serra. In pratica, si tratta di invertire l'equazione, risolvendola per n , quando la T_{in} che si desidera sia nota, in considerazione di variazioni negli altri fattori (temperatura esterna, radiazione solare, umidità).

Ventilazione e anidride carbonica

Come è ben noto, il processo di fotosintesi implica l'assorbimento di molecole di anidride carbonica presenti nell'aria. Il primo passo della reazione può spesso essere limitante, dato il ruolo cruciale dell'enzima Rubisco. La Rubisco reagisce ugualmente, ma in modo mutuamente esclusivo, con l'O₂ e con la CO₂. Dato che la concentrazione di ossigeno nell'aria è circa 600 volte più alta di quella dell'anidride carbonica, aumentare la concentrazione di anidride carbonica ha un effetto molto marcato sulla fotosintesi, non solo per la presenza di più "materiale base", ma anche per la modificazione in senso benefico del rapporto CO₂/O₂. Similmente, è noto che abbassare la concentrazione di ossigeno stimola la fotosintesi anche se non se ne prevedono applicazioni commerciali. D'altra parte, è ugualmente noto che

umentando la concentrazione di CO₂ dai 350 vpm (cm³ m⁻³) attuali dell'atmosfera a 1000 vpm, il tasso di fotosintesi aumenta fra 30 e 50% (Nederhoff, 1994). La reazione all'incremento di concentrazione è una reazione così detta di saturazione, nel senso che a concentrazioni elevate l'effetto diventa sempre minore.

La concentrazione di anidride carbonica in un ambiente semichiuso, anche ventilato, è sempre minore della concentrazione esterna. Infatti, la coltura assorbe CO₂ dall'ambiente interno, dove quindi si crea una depressione. La conseguente differenza di concentrazione attraverso le aperture genera un flusso di anidride carbonica dall'esterno all'interno. La legge di conservazione della massa richiede che questo flusso sia uguale al flusso di assimilazione. Quindi, fino a che c'è assimilazione (e quindi flusso di "riempimento") ci deve essere una differenza di concentrazione positiva fra esterno ed interno. In simboli:

$$A = V = n H (CO_{2,out} - CO_{2,in}) \Rightarrow CO_{2,in} = CO_{2,out} - \frac{A}{nH}$$

dove A è il flusso di assimilazione e V è l'apporto di CO₂ dalla ventilazione in g di CO₂ per m² di serra per ora, n è il tasso di ventilazione (volumi per ora) e H è l'altezza media della serra in m, cioè i m³ di volume della serra per ogni m² di superficie della stessa. $CO_{2,out}$ e $CO_{2,in}$ sono la concentrazione esterna ed interna in g per m³. L'equivalenza fra g e cm³ è data dalla legge di Avogadro e, per l'anidride carbonica:

$$1 \text{ cm}^3_{CO_2} \cong 2 \text{ mg}_{CO_2} \Rightarrow 350 \text{ vpm} \cong 700 \frac{\text{mg}_{CO_2}}{\text{m}^3}$$

Concentrazioni diurne estive inferiori a 200 vpm all'interno di serre anche ventilate sono abbastanza frequenti. Nederhoff (1994) propose una "regola del pollice" (basata su molte misure in serre commerciali) per stimare l'effetto sulla produzione del pomodoro di un incremento di 100 vpm nella concentrazione ambiente di CO₂.

$$\Delta \text{ raccolto} = 1.5 \left(\frac{1000}{CO_2} \right)^2 \%$$

dove la variazione è in percentuale e CO₂ è la concentrazione attuale (vpm), da cui si considera l'incremento di 100 vpm. Per esempio, supponendo che si osservi una concentrazione di 250 vpm, riportarla a 350 vpm comporterebbe un incremento di produzione di circa 24%, che è come dire che l'esaurimento di CO₂ causa una perdita di produzione del 24%. L'equazione è un buon esempio della "legge del beneficio decrescente": incrementare la concentrazione di CO₂ da 350 a 450 vpm comporta un aumento stimato della produzione "solo" del 13%. Oltre all'effetto diretto sulla crescita, in vista di quanto detto sopra, cioè la funzione "pseudoormonale" degli assimilati nello stimolare produzione di germogli laterali e fiori, c'è anche un effetto indiretto sullo sviluppo. La ventilazione subottimale della serra può essere quindi il fattore limitante, quando non ci sia arricchimento di anidride carbonica, almeno fino alla concentrazione esterna.

Il clima

Il potenziale produttivo di una zona (e quindi la necessità di climatizzazione per la produzione massima) si valuta bene attraverso grafici come quello mostrato in Figura 40, originariamente introdotti da Alpi e Tognoni nel 1969 (in bibliografia se ne riporta la 4^a edizione, del 1990). La Figura 40 conferma, per esempio, che la presenza di luce è il fattore limitante in autunno-inverno in Olanda e che le temperature eccessive possono limitare la produttività nei mesi estivi nella Spagna Meridionale. Più interessante è l'esempio della Cina settentrionale (stessa latitudine di Almeria) dove la grande escursione termica implicherebbe il riscaldamento invernale e il raffreddamento estivo. Dato che la situazione economica non permette costi di produzione elevati, è stata perfezionata la serra "solare" cinese (Luo, 2006), caratterizzata da un elevato immagazzinamento termico che, smorzando l'escursione termica diurna, anche quella molto estesa, permette la coltivazione per la maggior parte dell'anno, esclusi brevi periodi vicino ai solstizi.

Uno studio a priori delle condizioni climatiche permette di individuare quei parametri di progetto che contribuiscono a determinare la "gestibilità" dell'ambiente serra. Le condizioni tipiche dell'Italia o Spagna Meridionale (ma non delle regioni al Nord) sono tali che una serra "passiva" (cioè senza riscaldamento e raffreddamento), se ben progettata, potrebbe mantenere al suo interno le condizioni che vogliamo ottenere per le colture ortive per la maggior parte dell'anno. Naturalmente questo implica che ci sono periodi in cui le condizioni all'interno della serra sono sub-ottimali, con conseguente diminuzione (o esclusione) di produzione.

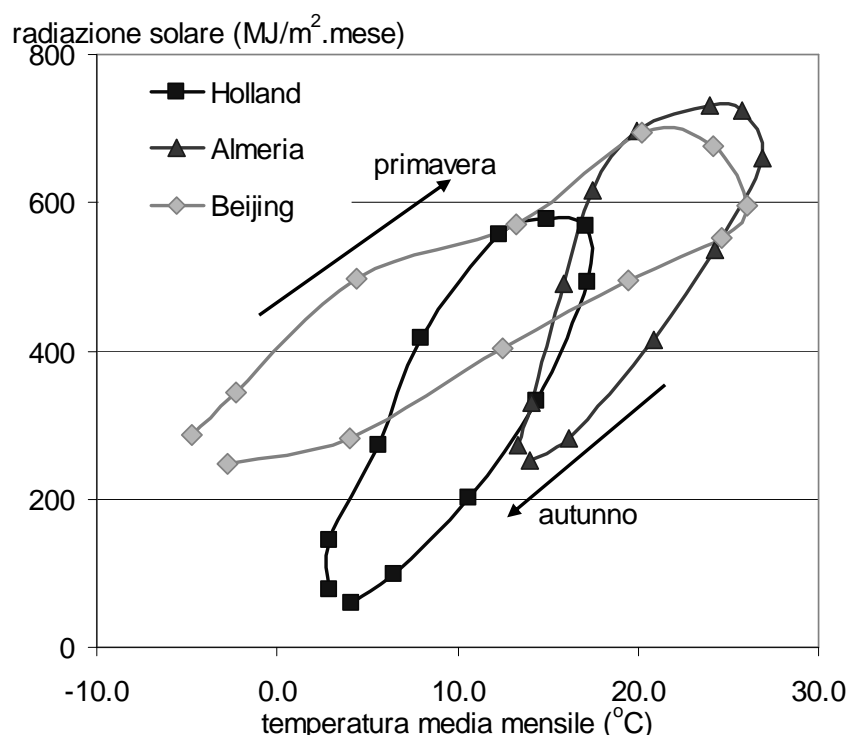


Figura 40 Analisi comparata delle condizioni climatiche in varie regioni mondiali con importante presenza di colture protette. I punti sono valori medi mensili e la linea è interrotta fra Dicembre e Gennaio. In tutti i casi la primavera è nella parte alta del ciclo

Come si dimostra nelle serre olandesi, abbiamo oggi la tecnologia per mantenere all'interno le condizioni che si possono desiderare, in termini di temperatura, luce, anidride carbonica e umidità, cioè con mezzi sufficienti si può coltivare tutto ed ovunque. È anche vero che più elementi climatici siamo in grado di manipolare, più elevata è la produzione e, per esempio, l'efficienza di uso dell'acqua (Figura 41) o del suolo. Dato però che i costi di produzione sono determinati in gran parte dal clima, cioè da quanta "climatizzazione" è necessaria per produrre, è chiaro che la gestione economica dell'impresa richiede non più del livello di climatizzazione che si giustifica con i prezzi di mercato dei prodotti. De Pascale et al., (2006) hanno analizzato a fondo recentemente questo argomento.

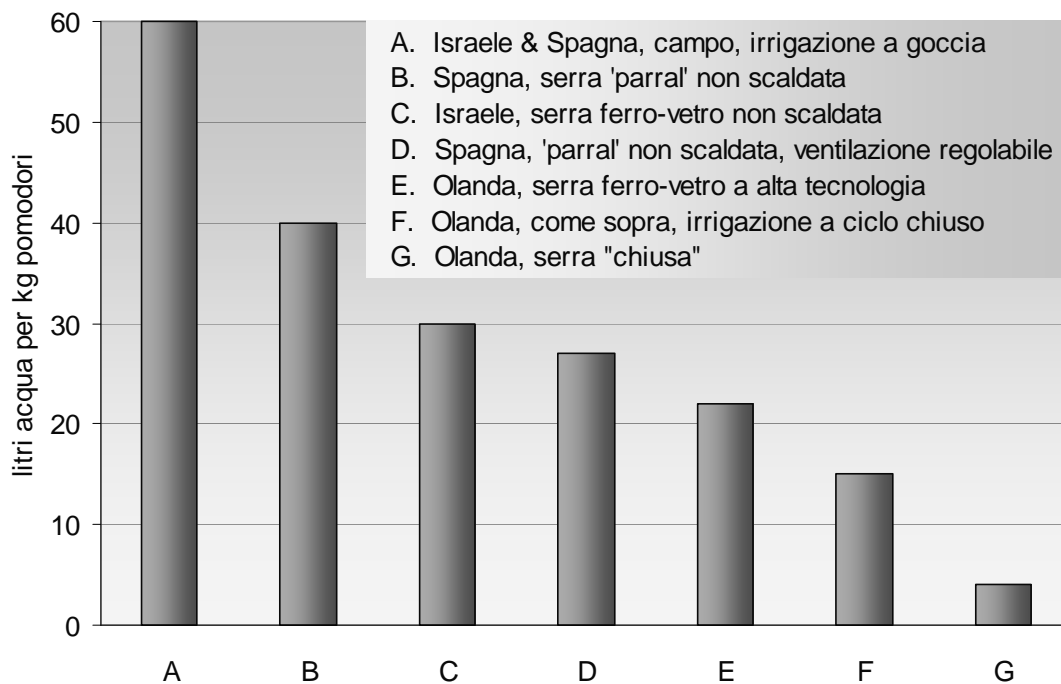


Figura 41 Litri d'acqua necessari per produrre un kg di pomodori freschi, nei diversi sistemi di coltivazione indicati. Il contenuto tecnologico dei sistemi di coltivazione aumenta verso destra

Serra passiva o serra attiva?

Solo un'analisi costi/benefici (incremento di produzione contro il "costo" del miglioramento climatico) può permettere di decidere cosa veramente ha senso in determinate condizioni. È noto che è più facile quantificare i costi che non l'incremento di produzione, sicuramente a priori. I modelli di produzione vegetale che si potrebbero applicare sono stati sviluppati (e calibrati) nelle serre "ottimali" dell'Olanda. La parte iniziale di questa rassegna dovrebbe ormai aver chiarito che la nostra conoscenza dell'effetto finale di eventi sporadici, come per esempio alcune notti a temperatura sotto 10°C, è molto limitata. Similmente, sappiamo poco di come temperature elevate ma discontinue influiscano sulla produzione. È un fatto che un numero crescente di produttori in zone temperate, come la Sicilia o Almeria, dispone di qualche forma di riscaldamento di soccorso, mentre per ora sembra più conveniente non coltivare in luglio ad Almeria, piuttosto che installare dei sistemi di raffreddamento (Anton et al., 2006). Quello che sembra certo è che la regolazione fine della ventilazione (nella versione più semplice: una cremagliera comandata da

un motorino regolato da un termostato) comporta un aumento della produttività. L'entità si può dedurre dalla Figura 41, dove sono riportati dati per entrambi i tipi di serre nella regione di Almeria.

Altre possibilità per ovviare a condizioni sporadicamente subottimali sono gli schermi mobili, le cui caratteristiche potrebbero essere determinate in funzione delle condizioni climatiche esterne, e l'immagazzinamento di energia in eccesso, per il successivo rilascio quando occorre. In tutti questi casi, nell'analisi dei possibili benefici, è da tener conto anche che questi sistemi, quando ci sono, possono contribuire a migliorare le condizioni anche nei momenti in cui queste non sono strettamente limitanti.

Un'importantissima modifica "attiva", spesso dimenticata, è la somministrazione di anidride carbonica. In Olanda questa è un sottoprodotto del riscaldamento, più costoso di quello che si potrebbe pensare, dato lo sfasamento fra la necessità di riscaldamento e il fabbisogno di CO₂. Poiché è più facile immagazzinare calore che un gas, si sopperisce allo sfasamento producendo di giorno acqua calda che si immagazzina in grandi depositi isolati termicamente, per poi utilizzarla per il riscaldamento notturno. Di solito la somministrazione è regolata in modo tale da garantire 700 vpm in assenza di ventilazione, che scendono linearmente fino al livello esterno, quando si abbia la ventilazione massima, in modo da garantire l'assenza di dispersione. Uno sviluppo molto recente, reso possibile dalla liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica in Olanda, è la produzione di energia elettrica attraverso la cogenerazione (elettricità/calore), utilizzando il gas di scarico per iniezione carbonica. L'energia elettrica viene utilizzata in azienda (in gran parte per illuminazione artificiale) e la parte eccedente immessa in rete.

Si sono già verificati alcuni casi critici nella rete di distribuzione olandese, in cui l'energia elettrica ha raggiunto prezzi di mercato così alti che ai produttori conveniva vendere tutta quella che riuscivano a produrre piuttosto che illuminare le serre. Anche nella regione di Almeria la fertilizzazione carbonica è sempre più diffusa, soprattutto fra i produttori orientati all'esportazione. Di solito [consorzi di] produttori "affittano" un grande contenitore che è gestito dall'azienda che fornisce la CO₂. Una conseguenza positiva degli accordi internazionali sulla limitazione delle emissioni è che il costo della CO₂ (un sottoprodotto di molti processi industriali) in bombola è sceso negli ultimi anni ed è ormai comparabile col costo di produzione di CO₂ attraverso la combustione (circa 0.11 €/kg). Un'analisi di fattibilità nella situazione italiana si può trovare in Incrocci et al., 2008a e 2008b.

Discussione

Per quanto in questo lavoro si parli di produzione in serra in relazione al clima, è bene tenere presente che il clima è solo uno dei fattori che contribuiscono al successo economico di una impresa orticola. Per esempio, in un'analisi delle prospettive della nascente floricoltura Latino-Americana, la Rabobank International (una delle principali banche Olandesi) ha identificato ben nove "fattori critici di successo", ed il clima è solo uno di questi. Nella valutazione in relazione alla situazione olandese ed israeliana, come riportato nella Tabella 53 il clima è indicato come uno dei fattori in cui l'America Latina (o almeno le regioni dove si sta sviluppando l'orticoltura protetta) gode di un vantaggio competitivo. Ciò nonostante, in considerazione dei fattori negativi potenzialmente critici, la Rabobank concludeva

raccomandando la massima prudenza agli orticoltori olandesi che prendessero in considerazione l'investimento in America Latina.

La serricoltura italiana (nella diversità delle sue regioni) deve competere sul mercato Europeo con le produzioni (e commercializzazioni) garantite, annuali e certificate dell'Olanda o, all'altro estremo, con le produzioni a basso costo del Marocco (orticole) o Africa Orientale (floricole) e lo spazio fra questi due estremi è più limitato di quello che si potrebbe pensare, dato che l'Italia non può comunque competere con i Paesi a basso costo di produzione. Un'analisi realistica quindi deve prendere l'orticoltura protetta olandese a riferimento, analizzare (e sfruttare) i possibili vantaggi competitivi. Ovviamente il principale vantaggio è il clima più favorevole e quindi i minori costi energetici. L'energia rappresenta circa il 30% dei costi totali di produzione nelle serre olandesi, quindi, una serra in Italia che, senza riscaldamento, riuscisse ad ottenere il 70% della produzione olandese, sarebbe competitiva. Questo nell'ipotesi che gli altri costi di produzione ed il valore del raccolto siano gli stessi. Per quel che riguarda i costi di produzione, un altro 30% dei costi variabili di produzione in Olanda è la mano d'opera. È pur vero che in Italia il costo del lavoro è lievemente minore, però di solito si impiegano più unità a parità di superficie produttiva. Un altro 20% dei costi di produzione è rappresentato in Olanda dai costi di capitale (valore del terreno, finanziamento, ecc). Chiaramente, la ridotta necessità di climatizzazione permette di costruire serre meno costose, purché questo non abbassi la produzione più di quanto abbassi i costi. Dal lato dei benefici, le produzioni certificate e la garanzia di consegne a ciclo annuale attraverso alleanze strategiche fra [consorzi di] produttori, sono ormai elementi essenziali nel determinare il valore del raccolto, ampiamente utilizzati dai produttori olandesi.

Tabella 53 Fattori critici di successo e loro valutazione nel caso della floricoltura latino-americana in relazione a quella olandese e israeliana (fonte: Rabobank International)

	Olanda	Colombia Ecuador	Israele	Messico
Vicinanza al mercato estero	Ottimo	Critico	Critico	Ottimo
Clima	Buono	Ottimo	Ottimo	Ottimo
Costo del suolo e materie prime	Critico	Ottimo	Critico	Critico
Costo della mano d'opera	Critico	Buono	Buono	Buono
Costo del capitale	Ottimo	Critico/Buono	Critico	Molto critico
Infrastruttura	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Critico
Accesso a tecnici esperti	Ottimo	Buono	Buono	Critico
Dimensione mercato interno	Buono	Molto critico	Molto critico	Buono
Stabilità sociopolitica	Ottimo	Critico	Critico/Buono	Critico

Ottenere il 50% delle produzioni olandesi in una serra a costo zero di capitale e di energia, e poi riuscire anche a vendere il raccolto ai prezzi “olandesi” è chiaramente un’utopia. La sfida è quindi determinare lo “spazio” competitivo esistente, bilanciando investimenti, costi di produzione e produttività, anche in vista degli altri fattori critici di successo elencati in Tabella 53.

Conclusioni

L’ambiente climatico italiano (nella diversità delle sue regioni) dovrebbe permettere una buona produttività anche in serre non completamente climatizzate o, in alcune regioni, esclusivamente passive. È però indispensabile utilizzare accorgimenti che limitino al massimo la perdita di produzione rispetto a serre climatizzate. Questo implica in primo luogo una selezione accurata delle caratteristiche fisiche (trasmissività, emissività e conducibilità termica) della copertura e di eventuali schermi mobili. In secondo luogo è indispensabile assicurarsi la capacità di ventilazione necessaria e la sua possibilità di regolazione, per garantire che si faccia il massimo uso dell’intervallo di cui si dispone per il controllo della temperatura. Un aspetto che merita forse più considerazione in molte zone è la possibilità di immagazzinare calore in eccesso durante il giorno, e utilizzarlo per smorzare le basse temperature notturne. In ultimo, ma solo per ribadire l’importanza, è indispensabile rivalutare l’economicità della fertilizzazione carbonica, in vista dell’evoluzione nei prezzi.

Un capitolo a parte, che esula dallo scopo di questa rassegna, è l’attenzione indispensabile al processo di commercializzazione: quello che conta in un’impresa è il “bottom line”. Aumentare il valore del raccolto dovrebbe ricevere almeno la stessa attenzione che aumentare la produttività o diminuire i costi di produzione. Il rovescio della medaglia di una climatizzazione scadente è anche la minor prevedibilità della produzione e spesso una maggiore incidenza di patologie, tutti fattori che incidono negativamente sul valore del prodotto.

La difesa delle colture orticole dai parassiti del terreno

A. Garibaldi*

Agroinnova, Centro di competenza per l'innovazione in campo agro ambientale – Università di Torino Via Leonardo Da Vinci, 44 – 10095, Grugliasco (TO) Italy
1* angelo.garibaldi@unito.it

La difesa delle colture orticole dagli attacchi dei parassiti da sempre presenta notevoli difficoltà, principalmente legate alla scarsa disponibilità di mezzi di lotta chimici. Questa situazione, recentemente complicata dalla perdita di numerosi principi attivi durante il processo di rivalutazione, risulterà ancora più grave tra qualche anno, quando il nuovo regolamento europeo per la registrazione e commercializzazione degli agrofarmaci entrerà in vigore. L'Italia, con un comparto ortofloricolo assai importante sotto il profilo economico, sarà uno dei paesi più colpiti.

D'altra parte la recente proibizione del fumigante bromuro di metile (BM), che rappresentava fino alla fine del secolo scorso il prodotto più largamente usato nella disinfezione dei terreni, ha imposto la necessità di trovare soluzioni alternative (Gullino et al., 2005). La necessità di sostituire le circa 9000 tonnellate di BM impiegate annualmente in Italia all'inizio degli anni novanta (Gullino et al., 2003) per la disinfezione del terreno ha costretto la ricerca, operando a stretto contatto con gli operatori agricoli più avveduti e con le aziende che applicavano tale fumigante, a inventarsi e a saggiare nel tempo le alternative più diverse. In questa nota cercheremo di riassumere le attuali possibilità di impiego di fumiganti alternativi recentemente autorizzati o di possibile futura registrazione, di mezzi fisici e di strategie di coltivazione a ridotto impatto ambientale (biofumigazione, innesto, colture fuori suolo...) tralasciando i mezzi biologici di lotta.

Le colture orticole rappresentano, pertanto, un banco di prova per l'impiego di mezzi e approcci di difesa innovativi. Di seguito si riportano, in modo sintetico, le possibilità attuali di difesa per le colture minori.

Alternative chimiche

Un mezzo chimico caratterizzato da sola efficacia nematocida oggi considerato l'alternativa al BM più promettente ed efficace per la lotta ai nematodi è l'1,3 dicloropropene (1,3 D). Questa sostanza, la cui azione nematocida è nota da lunghissimo tempo, è stata al centro di un rinnovato interesse, soprattutto in funzione della registrazione di formulati emulsionabili in acqua (1,3 D EC). Tali formulati, contrariamente a quelli commercializzati in passato, sono adatti ad essere distribuiti in sospensione acquosa (Ajwa e Trout, 1998) ed inoltre da alcuni anni sono registrati per l'applicazione in ambiente protetto, dove precedentemente l'1,3 D non era autorizzato. Le dosi di applicazione, riportate in etichetta, indicano l'applicazione di dosaggi variabili da 150 e 250 L/ha per formulati al 94% di p.a. La distribuzione di tale formulato avviene in combinazione con volumi d'acqua variabili da 20 a 25 L/m² in concentrazioni comprese tra 1,5 e 2‰. Nel caso in cui la disinfezione si effettui in terreni asciutti, in particolare in quelli sabbiosi, può essere conveniente irrigare preventivamente il terreno con volumi di acqua tra 15 e 20 L/m² al fine di permettere l'umettazione dello strato di terreno successivamente interessato dalla presenza delle radici. Immediatamente dopo il trattamento con 1,3 D è consigliabile applicare 10-15 L/m² di acqua per favorire l'approfondimento nel terreno del nematocida e

anche per risciacquare le tubazioni che in seguito verranno impiegate per l'irrigazione. Come per il BM, anche per l'1,3 D il ricorso alla copertura del terreno con film plastico appare assai importante non solo per incrementare l'efficacia del trattamento, ma anche per limitare il rischio di esposizione degli operatori durante e dopo il trattamento.

Altre sostanze recentemente registrate in Italia per la sostituzione del BM nei trattamenti dei terreni agrari sono prodotti già noti che sono stati introdotti sul mercato sotto forma di nuove formulazioni o con maggiori possibilità legali di impiego. Infatti essendo considerata assai difficile la comparsa sul mercato di nuovi fumiganti con un largo spettro d'azione, gli agricoltori si sono rivolti a fumiganti già usati in passato, ben sapendo che nessuno di essi può rimpiazzare completamente il BM (Duniway, 2002).

Tra questi, l'isotiocianato di metile e i suoi precursori (metham sodio e dazomet) sono attualmente una soluzione assai diffusa anche in considerazione del relativo basso costo a confronto con altri mezzi chimici. Dobbiamo, però, avere ben presente che questi fumiganti non contengono in modo sempre soddisfacente le malattie del terreno: risultati migliori sono stati ottenuti quando sono stati applicati sotto copertura con film plastici per ridurre la dispersione dei gas nell'atmosfera (Gullino et al., 2003).

La cloropicrina, registrata dal 2002 in Italia su pomodoro, peperone, melanzana, melone, anguria, zucchini e fragola, impiegata mediante iniezione o in soluzione acquosa attraverso gli impianti di irrigazione a dosi di almeno 30 g/m², fornisce buoni risultati. Infatti in prove condotte anche in Italia la cloropicrina contiene efficacemente *Verticillium dahliae*, *Pyrenochaeta lycopersici* e diversi *Fusarium oxysporum*. Tuttavia si deve considerare che questo fumigante è leggermente meno efficace del BM particolarmente a basse temperature del suolo (Gullino et al., 2002). Al contrario del BM la cloropicrina aumenta la sua efficacia quando il contenuto in umidità del terreno è elevato (Munnecke et al., 1982): questo spiega la buona efficacia di questo fumigante applicato in sospensione acquosa. Per migliorare la sua efficacia come nematocida, se ne consiglia un impiego in miscela con 1,3 D (Csinos et al., 2000).

Il tetratiocarbonato di sodio, registrato sotto il nome di Enzone in alcuni paesi, nel terreno degrada a solfuro di carbonio, un fumigante ad ampio spettro d'azione: in prove sperimentali condotte nel nostro paese ha fornito risultati assai variabili per cui non può essere considerato un fumigante in grado di rimpiazzare il BM.

Anche lo ioduro di metile, un prodotto saggiato originariamente negli USA per la sua attività fungicida e nematocida (Ohr et al., 1996), non ha ancora raggiunto la fase di impiego pratico, nonostante la sua buona attività dimostrata in prove di serra (Garibaldi, dati non pubblicati). Ciò è probabilmente da mettere in relazione a problemi concernenti il costo del prodotto o al rischio di comparsa nell'ambiente di metaboliti tossici per l'ambiente.

Il disolfuro di metile (DMDS) è un nuovo fumigante che probabilmente arriverà anche sul mercato italiano nei prossimi anni. Il DMDS è una sostanza che già può essere prodotta naturalmente in terreni ammendati con residui freschi ottenuti dalla coltivazione di liliacee (Auger e Arnault, 2005) e crucifere, può essere attivo nei confronti sia di funghi sia di nematodi (Gamliel e Stapleton, 1993). Il DMDS presenta un meccanismo d'azione certamente complesso avendo effetto sulla funzionalità

mitocondriale e causando l'inibizione della citocromoossidasi (Charles, 2003). Un formulato a base di disolfuro di dimetile è stato saggiato in diverse prove sperimentali anche in Italia. Dai risultati ottenuti (Garibaldi et al., 2008a; Garibaldi et al., 2008b) il DMDS da solo o in miscela con cloropicrina ha fornito buoni risultati contro la verticilliosi della melanzana e il marciume radicale da *Colletotrichum coccodes* del pomodoro. Anche in prove di lotta a fusariosi e nematodi del pomodoro alla dose di 60 g/m² il DMDS è risultato efficace (Minuto et al., 2006). Trattandosi di un fumigante che non presenta problemi di natura ambientale o tossicologica, la sua comparsa sul mercato potrebbe contribuire a risolvere almeno parzialmente i problemi conseguenti alla proibizione del BM.

Alternative fisiche

La disinfezione a vapore rimane una tecnica assai efficace che è, però, limitata a causa degli alti costi alle colture più pregiate in ambiente protetto. Allo scopo di ridurre i costi di applicazione di questa tecnica sono state condotte prove volte da un lato a valutare la sensibilità alle alte temperature di clamidospore e microsclerozi di diverse *formae speciales* di *Fusarium oxysporum* e di *Verticillium dahliae*: da queste ricerche si è confermato che a 70°C 1-2 minuti sono sufficienti per uccidere le forme di resistenza degli agenti di tracheofusariosi di basilico, pomodoro, garofano e lattuga e di *V. dahliae*. Sulla base di questi dati è emersa la possibilità di mettere a punto l'impiego di macchine semoventi generatrici di vapore capaci di operare su ampie superfici sia in serra sia in pieno campo (Gilardi et al., 2008). Considerando questi risultati pare prossima la messa a punto di una macchina per la disinfezione del terreno con vapore in grado di soddisfare la necessità di ridurre i tempi di trattamento e i costi dello stesso, garantendo nello stesso tempo un buon contenimento di patogeni tellurici responsabili di gravi perdite di produzione in sistemi ortofloricoli intensivi.

Un altro metodo fisico di disinfezione del terreno che sta assumendo sempre maggiore importanza è la solarizzazione (Katan e Devay, 1991). Questa tecnica, che si sta diffondendo in tutte le zone mondiali dove le condizioni climatiche sono favorevoli alla sua applicazione, nei nostri ambienti è limitato alle sole colture in serra (Garibaldi e Gullino, 1995) L'uso di periodi ridotti di durata della solarizzazione (2 settimane) combinato con l'impiego di dosi dimezzate di fumiganti può nel caso di alcune malattie raggiungere un soddisfacente livello di contenimento delle stesse (Gullino et al., 2003). Anche la combinazione della solarizzazione con la biofumigazione ha fornito recentemente ottimi risultati (Garibaldi et al., 2008) nella lotta alla verticilliosi della melanzana.

Alternative agronomiche

Un'alternativa agronomica come la biofumigazione è rappresentata dal sovescio di piante ad azione biocida con l'incorporamento nel terreno di grandi quantità di biomassa fresca (Matthiessen e Kirkegaard, 2006). In particolare la coltivazione e il sovescio di specie appartenenti alla famiglia della brassicacee permette l'apporto al terreno di sostanze ad elevata azione fungitossica: da questo fenomeno è nato il termine biofumigazione (Kirkegaard et al., 1998). La famiglia delle brassicacee si caratterizza, infatti, per la abbondante produzione di metabolici secondari (Rosa et al., 1997) derivati dalla degradazione enzimatica via mirosinasi di glucosinolati, sostanze naturali accumulate nei tessuti vegetali di queste piante (Lazzeri e Manici, 2000). Tali prodotti appartengono in larga parte agli isotiocianati, che sono in grado

di svolgere nel terreno una significativa azione biocida per la lotta a numerosi parassiti vegetali ed animali (Gamliel e Stapleton, 1993) .

Un inconveniente comune sia al sovescio di brassicacee sia alla solarizzazione (vedi sopra) è la durata del trattamento; nel caso del sovescio in particolare è necessario mantenere il terreno impegnato per alcuni mesi per permettere la crescita delle colture di brassicacee da immettere nel terreno. Partendo da questo problema recentemente sono state saggiate delle farine disoleate ottenute a partire da *Brassica carinata* (Lazzeri et al., 2004) applicate al terreno in dosi di 2-4 g/L. I risultati ottenuti sono simili a quelli forniti dal sovescio (Garibaldi et al., 2009). Questo tipo di trattamento potrebbe quindi sostituire il sovescio come biofumigazione in serra, dove è economicamente difficile pensare alla coltivazione per qualche mese di una specie da sovesciare. La combinazione di due settimane di solarizzazione con l'impiego di un sfarinato disoleato di *B. carinata* è di indubbio interesse nelle colture protette perché l'uso della biofumigazione permetterebbe di rendere maggiormente applicabile la solarizzazione negli ambienti serricoli italiani.

Tra le strategie alternative che possono essere utilizzate in sostituzione della disinfezione del terreno con metodi chimici o fisici citiamo, oltre alla già ricordata biofumigazione, soltanto due tecniche che si attagliano bene alle colture orticole e floricole e in particolare a quelle in ambiente protetto: l'impiego di cultivar resistenti e dell'innesto e le coltivazioni fuori suolo.

Per quanto riguarda il primo punto, sul mercato delle sementi è sempre più frequente trovare, in particolare nel settore orticolo e molto meno in quello floricolo, varietà resistenti a uno e a più parassiti, anche tra quelli terricoli (Martin, 2003). Bisogna, però, considerare che questo fatto, pur molto importante, da solo non riesce a risolvere integralmente i problemi causati da parassiti del terreno. Infatti la comparsa sul mercato di varietà resistenti a uno o più parassiti non garantisce dalla diffusione di altri agenti di malattia contro i quali le piante si comportano come suscettibili. È questo un fenomeno assai frequente nel caso delle tracheofusariosi: su molte colture si selezionano nel tempo razze fisiologiche di *Fusarium oxysporum* diverse da quelle presenti originariamente e contro le quali erano state selezionate le cultivar resistenti. Nel caso ad esempio di *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* in Italia è presente attualmente soltanto la razza 1 contro la quale si sta attrezzando l'industria sementiera per produrre cultivar resistenti, ma sono già state individuate altre due razze in Asia in grado di superare la resistenza inserita nelle cultivar di lattuga nostrane (Gilardi et al., 2005). Un altro aspetto che rende difficile, in particolare nel settore floricolo, l'adozione su larga scala di cultivar resistenti sono i tempi e i costi necessari per l'ottenimento da parte degli ibridatori di una nuova cultivar dotata contemporaneamente delle caratteristiche di resistenza e delle qualità necessarie per essere accettata dal mercato (Chellemi, 2002).

Un impiego particolare della resistenza che trova sempre più ampia applicazione nel nostro paese nel settore orticolo è l'uso di piante innestate su portainnesti resistenti. Questa tecnica sembra tornata di particolare attualità in quanto può essere combinata con altre strategie (fumigazione, biofumigazione, uso di mezzi biologici...) al fine di contenere tutti i parassiti del terreno.

Negli ultimi anni il numero di piante di pomodoro, melanzana, melone, anguria innestate su piede resistente è notevolmente aumentato e raggiunge le decine di

milioni. Essendo questi portainnesti resistenti ad alcuni parassiti terricoli (in particolare a *Fusarium oxysporum* e a *Verticillium dahliae*) la loro diffusione nel territorio nazionale ha rapidamente comportato il manifestarsi di alcuni nuovi problemi. Il *Solanum torvum* impiegato come portainnesto per la melanzana e considerato resistente a *V. dahliae* ha manifestato una non completa resistenza (Minuto et al., 2005); i portainnesti impiegati su pomodoro (ibridi interspecifici e intraspecifici di specie del genere *Lycopersicon*) hanno mostrato suscettibilità nei confronti di *Colletotrichum coccodes* (Minuto et al., 2006). Ciò implica la necessità di ricorrere all'integrazione di metodi di lotta diversi combinati con l'impiego di piante innestate.

Le coltivazioni senza suolo, particolarmente quelle a ciclo chiuso, rappresentano una valida alternativa alla disinfezione del terreno per le colture ad alto reddito e per questa ragione hanno trovato largo impiego nel Centro e Nord Europa. Tra i possibili inconvenienti derivanti da questo tipo di coltivazione vi è quello della rapida diffusione all'interno delle soluzioni circolanti di parassiti delle piante che si adattano facilmente alle condizioni ambientali prevalenti in questo tipo di colture. Tra questi parassiti, oltre a quelli zoosporici, ci si riferisce in particolare a *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum* sp. e ad alcuni virus e nematodi (Minuto et al., 2008). Le problematiche fitopatologiche, estremamente ridotte rispetto a quelle delle colture in terra, possono risultare estremamente importanti e gravi quando un parassita raggiunge le soluzioni nutritive (SN) e trova le condizioni favorevoli al suo sviluppo. Fortunatamente oggi sono disponibili tecniche efficienti per la disinfezione della SN, da considerare valide tecnicamente ed economicamente. Trattamenti termici, l'uso di radiazioni ultraviolette, impiego dell'ozono o del perossido di idrogeno e di prodotti che rilasciano cloro sono tutte tecniche che hanno fornito in ambienti diversi soddisfacenti risultati (Minuto et al., 2008). Ma altri sistemi, più sostenibili, sono stati messi a punto in questi ultimi anni. Il primo concerne la filtrazione lenta su sabbia (Van Os et al., 2000) che garantisce buoni risultati, quando effettuata correttamente, contro numerosi parassiti trasmissibili nella SN. Sulla superficie dello strato filtrante (il cosiddetto filter skin) si instaura un'attiva popolazione microbica, generalmente costituita da batteri (*Pseudomonas* spp. in particolare) e funghi (in larga maggioranza specie di *Trichoderma*), che riduce fortemente la possibilità di sopravvivenza di organi di moltiplicazione di patogeni.

Anche lo sfruttamento di fenomeni di repressività a infezioni di parassiti tellurici rappresenta una possibile strategia applicabile anche nelle colture fuori suolo: tale fenomeno, descritto e studiato per sistemi in mezzo liquido e con substrato a base di lana di roccia nei confronti di oomiceti, è stato recentemente osservato anche in substrati a base di lana di roccia, perlite o perlite + torba in prove condotte in Italia, confermando l'elevato peso di fattori microbiologici (Minuto et al., 2007) e, talvolta, anche di meccanismi di natura abiotica (Clematis et al., 2008).

In altre parole, anche nel caso delle colture fuori suolo la gestione delle alterazioni telluriche deve essere basata su un approccio integrato che consideri la costituzione e il mantenimento nella SN di una microflora bilanciata e repressiva e che sfrutti, quando ciò è possibile, ogni effetto collaterale utile alla limitazione delle epidemie. Si rende, perciò, sempre più importante operare nella prospettiva dello sviluppo di sistemi di colture "sostenibili" senza adottare l'uso di drastiche tecniche di disinfezione delle SN riciclate che potrebbe aumentare e non ridurre in qualche caso l'incidenza delle malattie.

La postraccolta sostenibile degli ortaggi

F. Mencarelli

DISTA – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali – Università della Tuscia, Viterbo, Via DeLellis snc - 01100, Viterbo * mencarel@unitus.it

Con il termine postraccolta ci si riferisce a tutte le pratiche che vengono condotte dopo che il prodotto ortoflorofrutticolo è stato raccolto. Con il termine sostenibile si suole intendere un approccio di sensibilità verso l'ambiente che ci circonda e quindi nel caso della postraccolta l'attenzione verso quelle tecnologie più eco-friendly e/o l'attenzione nell'applicazione di tecnologie tradizionali così da ridurre l'uso dell'energia, di acqua e di inquinamento dell'ambiente. In definitiva quando si affronta il sistema postraccolta da un punto di vista di sostenibilità non bisogna porsi solo la domanda: quale è la tecnologia o la pratica che mi dà il massimo profitto a parità di qualità? ma aggiungere: quale è la tecnologia o la pratica che mi dà il massimo profitto a parità di qualità e di preservazione dell'ambiente, sempre nel rispetto dell'operatore?

Prima però di iniziare a parlare delle tecnologie postraccolta dobbiamo fornire alcune informazioni basilari che distinguono gli ortaggi dagli altri prodotti ortofrutticoli.

Quali sono i problemi postraccolta degli ortaggi

Prima di tutto la *classificazione*. In postraccolta gli ortaggi vengono classificati in: ortaggi fogliari (insalate, spinaci, cavolo verza), ortaggi stelari (sedano, asparago, finocchio), ortaggi fiorali (cavolfiore, carciofo), frutti-ortaggi (pomodoro, melanzana, peperone, zucchino, cetriolo). Per tutti, i problemi relativi all'elevato calore di campo (soprattutto per quelli estivi), all'alto rischio di contaminazione (essendo in contatto con il suolo) e alla sensibilità ai danni meccanici (dovuta all'elevato turgore). In Tabella 54 sono riportate le principali caratteristiche da considerare prima di intraprendere un percorso postraccolta.

Tabella 54

Ortaggi fiorali e stelari	Ortaggi fogliari	Frutti-ortaggi
elevata attività meristemica	elevato rapporto superficie-massa	climaterici e non; basso rapporto superficie-massa
intensa attività respiratoria	media attività respiratoria eccetto per gli spinaci (molto alta)	media attività respiratoria
elevato n. di stomi e lenticelle per cui intensa perdita di peso e intensa attività fotosintetica	elevato n. di stomi e lenticelle per cui intensa perdita di peso e intensa attività fotosintetica	da scarsa a elevata presenza di stomi e lenticelle
		generalmente sensibili alle basse temperature

In secondo luogo la *fisiologia* del prodotto. Quando ci troviamo ad affrontare la postraccolta di un ortaggio dobbiamo considerare questi tre aspetti principali: elevato

calore di campo, elevata perdita di acqua, stress da raccolta. Con il termine calore di campo si intende la quantità di calore assorbito per irradiazione dal terreno; questo calore si somma a quello di respirazione ($1 \text{ mg CO}_2=2.5 \text{ cal}$) ed è dipendente dall'intensità della radiazione solare, dalla struttura e il colore del terreno, dall'inerbimento del terreno e dalla sua umidità. La perdita di acqua avviene principalmente per evaporazione/traspirazione ma c'è anche una componente di respirazione in funzione del tipo di prodotto, vale a dire della sua intensità respiratoria (Tabella 55).

Tabella 55 Intensità di respirazione ($\text{mgCO}_2/\text{kg-ora}$) dei principali ortaggi. Un'unica temperatura si riferisce al valore a 5°C

Ortaggio	a $0-5^\circ\text{C}$	a $15-20^\circ\text{C}$
asparago	60-100	180-250
basilico	30-50	120-170
broccolo	20-35	150-300
cavolfiore	15-20	80-95
cavolini di Bruxelles	40-70	170-200
cavolo	15-30	40-70
carciofo	30-45	100-190
cetriolo	15	40-70
cicoria	3-6	20-40
finocchio	10-20	30-50
lattuga	14-40	70-130
melanzana		30-50
peperone		30-40
pomodoro		30-50
prezzemolo	30-60	150-230
radicchio	5-15	30-45
ravanelli	6-10	50-70
sedano	15-20	40-70
spinacio	20-40	170-230

L'elevato turgore cellulare degli ortaggi e l'assenza in generale di barriere alla fuoriuscita di acqua soprattutto per quelli fogliari, stelari o fiorali determina sempre un flusso di vapor acqueo verso l'esterno in quanto l'umidità relativa dell'ambiente esterno è generalmente inferiore al contenuto idrico di questi prodotti. Al momento della raccolta non essendoci più l'apporto idrico da parte della pianta madre (radici) si assiste ad una rapida perdita di acqua che si manifesta con il progredire del tempo in sintomi di avvizzimento, appassimento, raggrinzimento (*stress da raccolta*). In Figura 42 possiamo osservare quale è la dinamica del processo. La differenza (VPD) tra il VP (pressione di vapore del prodotto) e la VP atm (pressione di vapore atmosferica) è il motore che guida la perdita di acqua. Al momento del taglio, l'aria entra dai fasci vascolari e li ostruisce creando un embolo. E' quindi evidente che la protezione degli ortaggi contro la perdita di acqua è una delle azioni principali da intraprendere.

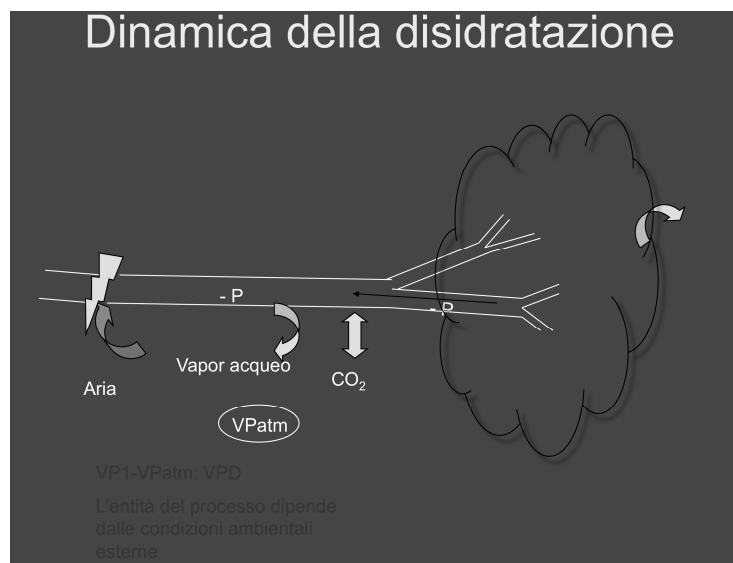


Figura 42 Dinamica della disidratazione dopo la raccolta $VP1-VP_{atm}:VPD$, l'entità del processo dipende dalle condizioni ambientali esterne

Protezione del prodotto dalla perdita di acqua

Se il VPD è il motore che determina la perdita di acqua la prima operazione che deve esser effettuata è quella di proteggere il prodotto dalla perdita d'acqua. Questo si può ottenere attraverso sistemi alternativi o complementari. In primo luogo abbassare la temperatura e/o aumentare l'umidità relativa agendo quindi direttamente sul VPD. Le operazioni di bagnatura hanno questa funzione. L'abbattimento rapido della temperatura è una pratica fondamentale per gli ortaggi di cui si parlerà in seguito e va sotto il nome di prerrefrigerazione. Altre pratiche di difesa del prodotto dalla perdita di acqua sono la ceratura che crea una barriera idrorepellente sia all'uscita che all'entrata dell'acqua. L'impiego dei film plastici è una pratica molto diffusa per il confezionamento degli ortaggi e in particolare oggi per quelli di IV gamma. Se dal punto di vista dell'efficacia per il raggiungimento dell'obiettivo il confezionamento è ottimale per quanto riguarda invece l'ambiente è molto deleterio. In Italia 2/3 dei rifiuti del confezionamento viene dall'industria alimentare e il 25% delle confezioni usate (il 16% del costo finale del prodotto) per i prodotti ortofrutticoli non hanno senso, tant'è che in Inghilterra le grandi catene di supermercati stanno cercando di ridurre l'entità del peso per il confezionamento. E'

evidente che il confezionamento è tanto più importante quanto più lunga è la catena distributiva. Quindi nella così detta catena corta, la confezione può esser ridotta per talune specie di ortaggi, ma siccome molti ortaggi altamente deperibili devono anche esser inviati su lunghe distanze in Italia e all'estero, la confezione diventa fondamentale. La possibilità di utilizzo di film plastici biodegradabili con caratteristiche simile al PE (polietilene) sta diventando reale così come l'utilizzo di PET (poliestere) riciclato (R). Il riciclaggio di 1 ton di PET permette la riduzione di 3 CO_{2eq} rispetto alla combustione del suo scarto e a 2 rispetto alla semplice immissione in discarica. In Europa per piccoli frutti e fragole si consumano 5500 ton di PET vergine; usando il PET riciclato si può ottenere una riduzione di 16500 e 11000 CO_{2eq}/ton, considerando che per la produzione di PET si immettono 2.3 ton di CO₂ mentre per l'R-PET l'immissione è solo di 0.14 ton.

Prerefrigerazione per gli ortaggi

La prerefrigerazione è un'insieme di tecniche volte ad ottenere nei prodotti un rapido abbassamento della temperatura. Le conseguenze positive che tale trattamento induce nei prodotti sono:

- riduzione delle perdite post-raccolta legate all'elevata emissione di vapor acqueo (broccoli, carciofi, asparago), ad una più alta sensibilità agli attacchi parassitari (fragole), ad una minor resistenza alle lesioni meccaniche (ciliegie, pere);
- migliore qualità del prodotto e quindi un più alto potenziale commerciale sui mercati esteri;
- prolungamento del periodo di commercializzazione;
- possibilità di effettuare una raccolta più tardiva;
- possibilità di lavorare maggior prodotto nell'unità di tempo;
- risparmio di spazio refrigerato e di energia per la conservazione.

Nella pratica commerciale i sistemi di prerefrigerazione di più frequente impiego sono i seguenti:

- prerefrigerazione in cella frigorifera, o room cooling e sue modificazioni come il ceiling jets cooling e il bay cooling;
- prerefrigerazione in aria forzata o forced air cooling da eseguire in cella frigorifera oppure con aria fredda umidificata(wet air cooling);
- idrorefrigerazione o hydrocooling;
- prerefrigerazione sottovuoto o vacuum cooling e sua modificazione(hydro-vac-cooling);
- prerefrigerazione con ghiaccio o top-icing o body-icing e sua modificazione (liquid icing).

La scelta di uno di questi sistemi dipende da una serie di fattori, in quanto i prodotti non sono tutti in grado di tollerare qualsiasi sistema di prerefrigerazione. La maggior parte di quelli altamente deperibili (asparagi, broccoli, ecc.) richiedono tempi brevi di

prerrefrigerazione e quindi per essi si adatta bene l'idrorefrigerazione, il sottovuoto, l'aria forzata, il ghiaccio. Alcuni prodotti sono sensibili alla bagnatura (fragole, fiori recisi) ed altri al trattamento con ghiaccio (zucchini, pomodori) per cui la scelta si indirizzerà sull'impiego dell'aria forzata. La prerrefrigerazione in aria forzata è idonea per tutti i prodotti commercialmente considerati ortaggi (peperoni, melanzane, cetrioli, zucchini) per la maggior parte dei frutti, per i tuberi, per i bulbi e per i fiori recisi.

Quando i prodotti sono resistenti al contatto con l'acqua e non presentano cavità dove l'acqua può ristagnare l'idrorefrigerazione è uno dei metodi più rapidi ed efficaci: generalmente è impiegata per il sedano, le carote, i carciofi, l'asparago, i meloni e per taluni frutti, mentre è da evitare per i prodotti fogliari e per i fiori recisi, in cui la pioggia d'acqua può provocare la comparsa di lesioni.

Per i prodotti che hanno un elevato rapporto superficie/massa come gli ortaggi fogliari, le brassicacee, i carciofi e il sedano, la refrigerazione sottovuoto rappresenta una valida soluzione, anche se esiste il problema della perdita di peso (1% ogni 4-6 °C). Attualmente questo inconveniente è superato con l'impiego di una pioggia di acqua prima del trattamento sottovuoto (hydro-vac cooling), che però aumenta il costo di gestione (acqua e contenitori idrorepellenti).

La prerrefrigerazione in cella frigorifera si può ottenere aumentando la velocità dei ventilatori, favorendo quindi il flusso d'aria refrigerata attraverso i contenitori mediante un opportuno sistema di stivaggio; è un metodo economico ma lento e quindi adatto a prodotti di bassa deperibilità (bulbi, tuberi).

In ogni caso nella scelta del metodo di prerrefrigerazione le considerazioni economiche sono il fattore fondamentale. Oggi tuttavia anche le considerazioni di impatto ambientale e quindi di sostenibilità devono acquistare un maggior ruolo nella scelta. Esempio, la prerrefrigerazione sottovuoto (in minor misura l'idrorefrigerazione), richiede un notevole investimento di capitali ma anche un forte input energetico con le conseguenze di forti emissioni di CO₂. Oggi il suo impiego deve esser limitato a casi particolari come per prodotti di elevato valore commerciale o quando è possibile impiegare l'impianto intensivamente durante tutto l'anno (impianti vacuum su ruote possono venire trasportati in differenti luoghi a seconda delle esigenze). Comunque anche in questo caso, l'utilizzo dal punto di vista ambientale è sconsigliabile se consideriamo che per un carico da 20 pedane occorre un impianto frigorifero da 190KWh.

Oggi più che mai, l'efficienza di un impianto di prerrefrigerazione (qualità di refrigerazione/energia consumata) è importante e dipende da diversi fattori che devono esser presi in considerazione al momento in cui viene deciso un programma di prerrefrigerazione di prodotti ortoflorofrutticoli. Anche se la richiesta di energia per la prerrefrigerazione è soltanto una piccola quota dell'energia totale assorbita durante le operazioni di condizionamento e conservazione di un prodotto e viene stimata, a seconda dei prodotti e delle condizioni ambientali, i valori comunque si attestano tra 0.5 e 5%.

Affinché quindi l'efficienza aumenti e quindi si abbassi anche l'impatto ambientale è opportuno conoscere: il genere (radici, tuberi, foglie, frutti, fiori), la loro dimensione e il peso specifico dei prodotti, caratteristiche queste che influenzano il trasferimento di calore.; è inoltre indispensabile conoscere la temperatura finale desiderata e la

quantità di prodotto da refrigerare nell'unità di tempo; devono essere infine noti il tipo di contenitore, il materiale di imballaggio, l'aerazione dei contenitori ed il tipo di stivaggio. Una notevole influenza sull'efficienza di un impianto ha la conoscenza della situazione operativa del luogo di installazione. Si deve conoscere la disponibilità di personale e l'ampiezza della stagione di raccolta. Quest'ultima, se è lunga farà preferire installazioni fisse, mentre se è di breve durata privilegerà unità mobili, unità con acqua ghiacciata, o combinazione cella frigorifera-unità mobile. È importante la locazione dell'impianto (campagna, prossimità di centro abitato, condizione delle vie d'accesso, disponibilità di energia elettrica e di acqua), il costo dell'energia ed il costo del lavoro, il tipo di distribuzione del prodotto, i mezzi di trasporto da impiegare, la disponibilità di capitali, nonché la disponibilità e la professionalità degli operatori. La progettazione dell'impianto va fatta dopo la scelta della tecnica di prerefrigerazione e tenendo conto di alcuni fattori quali la conoscenza delle temperature medie, massime e minime della zona, la conoscenza delle esigenze termiche del prodotto, la conoscenza della locazione dell'impianto (al sole, in ombra, in cella frigorifera), nonché i carichi termici ed i quantitativi di prodotto da lavorare.

Il funzionamento ed il conseguente buon mantenimento dell'impianto, tanto importante per il contenimento dei consumi energetici, dipende da una serie di fattori, innanzitutto è legato alla cura e all'attenzione degli operatori, alla misurazione accurata delle temperature prima, durante e dopo il trattamento. È infine funzione del sistema di approvvigionamento dell'impianto, della sua manutenzione e della sua sicurezza e dovrà necessariamente coinvolgere il periodo di raccolta dei prodotti, nonché le precauzioni termiche adottate dopo la raccolta.

Prerefrigerazione in cella frigorifera

Il concetto fisico su cui si basa questo metodo è l'asportazione di calore dalle derrate mediante il moto convettivo, per cui il flusso d'aria fredda che esce dall'evaporatore ad una velocità di 60- 120 m/min, investe il prodotto, si riscalda e risale verso l'evaporatore. Allorché il prodotto è refrigerato la velocità degli elettroventilatori viene ridotta a circa 3-6 m/min, sufficiente ad assicurare il mantenimento dell'ambiente termico.

I prodotti possono essere prima refrigerati e poi conservati nello stesso spazio. I limiti di questo tipo di impianto sono da ricondurre alla lentezza di refrigerazione, per cui è inadatto a prodotti altamente deperibili: in cella il $t_{1/2}$ (tempo di metà raffreddamento) per le pesche è uguale a 6 ore contro 1 ora dell'aria forzata. Inoltre occorre un maggior spazio al momento di massimo afflusso del prodotto rispetto ai metodi di prerefrigerazione rapidi, alla necessità di un idoneo sistema di accatastamento e di contenitori opportunamente aerati, nonché a problemi di condensa sui prodotti periferici dovuta al vapor acqueo proveniente dai prodotti stivati nella parte centrale dello spazio refrigerato, dove minore è la refrigerazione.

Alcuni miglioramenti possono esser apportati a tale tecnica; il primo, conosciuto come jet-ceiling, consente di ovviare alla cattiva distribuzione dell'aria nella cella mediante la realizzazione di un doppio soffitto corredato di ugelli da cui l'aria fredda viene forzata sui prodotti opportunamente disposti sul pavimento. L'altra modifica (bay-cooling) viene realizzata suddividendo lo spazio refrigerato in comparti, ognuno con i propri aeroevaporatori, così da evitare il riscaldamento dei prodotti già refrigerati ogni qualvolta viene immesso nuovo prodotto da refrigerare.

Prerefrigerazione in aria forzata

Il sistema di prerefrigerazione in aria forzata, che si basa sempre sul principio fisico di asportazione del calore per convezione, ha consentito di accelerare i tempi di refrigerazione aumentando la velocità del flusso che investe i prodotti. La velocità del flusso d'aria viene regolata controllandone la portata: volumi d'aria elevati consentono di lavorare più prodotto nell'unità di tempo, riducendo il tempo di raffreddamento a 1/4 – 1/10 rispetto alla prerefrigerazione in cella.

La prerefrigerazione in aria forzata avviene con l'ausilio di ventilatori che possono lavorare in positivo, spingendo aria fredda sul prodotto (pressure cooling), o in negativo, aspirando cioè l'aria fredda dalla cella frigorifera e obbligandola a passare attraverso i prodotti mediante un'adeguata disposizione dei contenitori.

La prerefrigerazione in aria forzata con il metodo di aspirazione dell'aria può essere effettuata con 3 differenti sistemi: il tunnel ad aria forzata (forced air tunnel), il tunnel a doppia parete fredda (cold wall), il tunnel a flusso verticale (serpentine cooling).

Il sistema con tunnel ad aria-forzata (forced air tunnel) è il sistema più tradizionale e consiste nell'accatastamento di due file di pallet in modo da lasciare un corridoio dove, mediante un ventilatore, viene creata una lieve depressione. Il corridoio tra le due file di pallet viene coperto con un telo plastico, realizzando un plenum d'aria. L'aria della cella, richiamata dal ventilatore, è costretta a passare attraverso i prodotti raffreddandoli.

La tecnica della doppia parete fredda (cold wall) viene realizzata con installazioni fisse, dove un ventilatore è collocato all'interno di una doppia parete (plenum) fessurata, per cui l'aspirazione dell'aria dalla cella frigorifera crea un flusso sul prodotto disposto in pallet ed in contatto con la doppia parete. L'aria viene poi scaricata verso l'alto della cella frigorifera. Anche in questo caso i prodotti, una volta refrigerati, devono essere immediatamente rimossi per evitare l'avvizzimento.

Il metodo a flusso verticale (serpentine-cooling) è valido per i prodotti disposti in bins fessurati soltanto sul fondo e non lateralmente. Per creare il flusso d'aria sui prodotti, vengono sfruttate le fessure dei pallet dove si inseriscono le pale dei mulinelli. Per favorire il contatto tra l'aria ed il prodotto, le fessure vengono alternativamente lasciate aperte, dall'alto verso il basso, per più file di pallet sovrapposti. Con tale accorgimento il flusso d'aria fredda che entra dalle fessure di un pallet ed investe il prodotto riscaldandosi, è costretto ad uscire dalla parete fredda, richiamato dalla lieve depressione creata dal ventilatore. Si crea così un flusso verticale che consente una rapida refrigerazione, senza necessità di creare spazi tra le file di pallet che possono pertanto essere disposti su più piani.

Tutti e tre i sistemi descritti, per raggiungere il massimo di efficienza, devono sottostare a tre requisiti fondamentali: ampiezza di spazio tra le file di pallet; contenitori con superfici ventilabili; capacità frigorifera. Importante, nella prerefrigerazione in ventilazione forzata, è la disposizione della copertura del corridoio per formare il plenum, che deve essere disposta in modo da coprire soltanto il corridoio e non i prodotti. L'adeguata dimensione dell'ampiezza dei corridoi è di fondamentale importanza per mantenere una uniforme refrigerazione su tutta la massa di prodotto.

I parametri fisici che vengono soprattutto considerati sono la pressione statica e la velocità dell'aria. Tra loro esiste una stretta relazione per cui più è elevata la velocità del flusso d'aria che attraversa i prodotti, maggiore è la perdita di pressione statica. Ciò significa che se l'aria fluisce sul prodotto troppo velocemente, la pressione statica nel corridoio, e quindi sui prodotti, è insufficiente per svolgere un'adeguata refrigerazione. Altro fattore determinante per il buon esito di un trattamento prerrefrigerante in aria fredda e l'impiego di adatti contenitori, in quanto una scarsa superficie aperta ritarda la refrigerazione del prodotto. Infatti l'uso di contenitori non appropriati e l'impiego di materiali di riempimento, o di confezionamento, ritardano i tempi di refrigerazione del 10% richiedendo una maggior pressione statica e quindi ventilatori più potenti.

L'altro elemento da tenere in considerazione è la capacità termica dell'impianto di refrigerazione della cella in quanto da essa dipende il controllo termoigrometrico. Infatti, impianti frigoriferi con evaporatori insufficienti rispetto al cubaggio della cella, oltre a richiedere un maggior consumo energetico, non consentono di mantenere in cella un alto tasso igrometrico, per cui la bassa umidità relativa e l'accelerata ventilazione del prodotto procurerà un elevato calo peso di quest'ultimo.

In conclusione l'esito di una prerrefrigerazione condotta con questo metodo dipenderà dal giusto dimensionamento dell'impianto frigorifero.

Idrorefrigerazione

L'idrorefrigerazione rappresenta una delle tecniche prerrefrigerative maggiormente impiegate per la rapida refrigerazione dei prodotti ortofrutticoli. La sua diffusione è soprattutto legata alla rapidità del processo, dovuta al fatto che la conducibilità termica tra acqua e prodotto è 20 volte maggiore di quella tra aria e prodotto, ed alla sua adattabilità a qualunque specie ortofrutticola. Altri vantaggi sono l'assenza di calo-peso del prodotto, il risparmio energetico per la conservazione (riduzione della potenza degli evaporatori di 3-3,5 volte), la riduzione del volume di stoccaggio di circa il 20% grazie all'eliminazione dei corridoi delle refrigerazioni forzate, nonché la possibilità di impiegare la flottazione in acqua del prodotto come sistema di trasporto per le successive operazioni di preparazione per il mercato. Tale sistema di trasporto consente di ridurre considerevolmente le lesioni da impatto o da abrasione, molto frequenti con altri sistemi (rulli, nastri, ecc.), e di mantenere un più alto livello qualitativo, soprattutto per alcune specie quali pere e carciofi in cui anche piccoli impatti provocano la comparsa di annerimenti superficiali.

L'idrorefrigerazione presenta comunque, anche dei limiti legati alla necessità di impiegare acqua sanitizzata (aggiunta di ipoclorito di sodio), all'impiego di contenitori di materiale idrorepellente, all'impossibilità di utilizzazione per prodotti che presentano cavità, alla necessità talvolta di asciugatura dei prodotti e alla necessità di un largo consumo idrico.

Il sistema isolante è di estrema importanza per l'efficienza del trattamento. Impianti esposti al sole, ovvero dipinti con colori scuri, assorbono infatti una notevole quantità di radiazione infrarossa provocando il riscaldamento dell'installazione. È stato osservato che il 50% della potenza frigorifera viene spesso persa a causa di un isolamento insufficiente con conseguente forte impatto ambientale.

Il sistema di refrigerazione dell'acqua avviene mediante un gruppo frigorifero oppure con l'impiego di lastre di ghiaccio. È forse il fattore più importante perché dalla sua temperatura dipende la capacità frigorifera dell'impianto. La potenza del gruppo frigorifero è calcolata in funzione della differenza tra la temperatura del prodotto in entrata e la temperatura dell'acqua.

L'efficienza dell'idrorefrigerazione è funzione del contatto tra acqua e prodotto, del movimento dell'acqua, nonché della superficie dell'evaporatore (o del contatto con il ghiaccio).

Il maggior problema che si ha nell'impiego dell'acqua come mezzo refrigerante concerne la sua sanità. Qualsiasi prodotto, raffreddandosi, tende a contrarsi assorbendo acqua attraverso le aperture naturali (stomi e lenticelle) o occasionali (ferite), per cui possono penetrare nel tessuto anche spore fungine, residui di fitofarmaci, elementi metallici e residui di vernici (derivanti dall'impianto), tutti elementi che provocano l'inquinamento del prodotto e la sua successiva deperibilità. È quindi indispensabile la sanitizzazione dell'acqua affinché non risultino vani i vantaggi ottenibili dall'idrorefrigerazione. Quindi, oltre all'attenta cura nella pulizia dell'impianto, sarebbe buona norma impiegare costantemente acqua nuova e non riciclata, a meno che non si disponga di un efficiente sistema di filtrazione. L'uso di acqua riciclata ha il vantaggio di permanere sempre a temperatura piuttosto bassa e quindi minor differenziale termico con il gruppo refrigerante e inoltre di richiedere minor dispendio idrico. A questo riguardo oltre ai sistemi fisici di filtraggio è importante oggi usare tecniche nuove come l'ozono per l'abbattimento del BOD (biological oxygen demand). L'impiego dell'acqua ozonata apre una buona prospettiva per la sostenibilità ambientale dell'impianto in quanto la sua produzione richiede un bassissimo consumo di energia (meno 1 KWh) e non lascia residui.

I sistemi di idrorefrigerazione sono essenzialmente due : uno per immersione ed uno per aspersione.

Il **metodo per immersione** prevede che il prodotto venga completamente immerso in acqua a temperatura prossima a 0 °C. Per migliorare il contatto tra acqua e prodotto, l'acqua viene movimentata mediante l'impiego di idonee pompe. I problemi che sorgono con l'uso di tale metodo sono riconducibili essenzialmente alle difficoltà di tenere il prodotto completamente immerso in acqua e al fatto di dover pulire accuratamente le vasche.

Il **metodo per aspersione** è certamente il più impiegato in quanto può essere adottato sia sul prodotto sfuso che su quello confezionato in cassette o bins palettizzabili, purché disposti su un nastro trasportatore. Il nastro con il prodotto, avanzando nel tunnel, viene investito da getti di acqua fredda provenienti dal soffitto e dalle pareti. La velocità del nastro va regolata in modo tale che all'uscita del tunnel il prodotto sia completamente refrigerato. Questo metodo può presentare un solo inconveniente legato ad un insufficiente contatto tra acqua e prodotto, soprattutto quando il volume di questo è elevato. In tal caso occorre impiegare una maggior quantità di acqua, ovvero bilanciare l'entità della doccia con il sistema di drenaggio dell'acqua, cosicché i contenitori possono rimanere parzialmente riempiti per qualche minuto. Generalmente la massa d'acqua richiesta è pari a 400 l/m²-min. È molto importante il giusto dimensionamento del carico sul nastro trasportatore in

quanto, se tale valore è sottostimato, si può ottenere insufficiente refrigerazione al termine del periodo di trattamento.

Prerefrigerazione sottovuoto

Il principio fisico su cui il sistema si basa dipende dalla capacità di un liquido di evaporare a temperature più basse quando la pressione ambientale viene ridotta. Il calore necessario a provocare il cambiamento di stato (calore latente di evaporazione) viene asportato dal prodotto il quale in tal modo si raffredda.

L'efficacia di tale processo dipenderà, particolarmente, dal rapporto superficie/massa del prodotto e dalla facilità di traspirazione che hanno i tessuti esposti. Gli ortofrutticoli che meglio rispondono a tali requisiti sono quelli fogliari (insalate, spinaci, prezzemolo, sedano), ma anche altri prodotti come il peperone, il cavolfiore, il carciofo ed il melone che, pur avendo il rapporto superficie/massa più ridotto, possono essere così refrigerati grazie all'impiego di cicli di trattamento più lunghi.

Oltre al rapporto superficie/massa, altri fattori intervengono a condizionare l'efficacia di tale processo: la turgidità (meno turgido è un prodotto più lento sarà il ciclo di trattamento) e la compattezza del prodotto (piante di lattuga più compatte richiedono cicli più lunghi). Ne deriva che, se un prodotto è di struttura compatta, se lo spessore è elevato, se esistono materiali di confezionamento poco permeabili all'aria, l'evaporazione avverrà con difficoltà.

I vantaggi offerti dalla prerefrigerazione sottovuoto sono molteplici, dalla rapida refrigerazione (15-40 minuti) alla possibilità di impiego anche su prodotti già confezionati avvolti in film plastico perforato, all'asciugatura superficiale del prodotto raccolto nelle prime ore del giorno, nonché alla possibilità di effettuare fumigazioni. Un vasto impiego di tale tecnica è però condizionato da limiti quali la perdita di peso a seguito dell'evaporazione (1-4%), il costo dell'impianto e, a volte, la professionalità degli operatori.

Per taluni prodotti molto compatti una semplice fase di depressione non è sufficiente a completare la refrigerazione. In questo caso si ricorre alla tecnica del bouncing che consiste nell'eseguire più cicli di depressione.

Altra tecnica impiegata è quella conosciuta come Hydro-vac cooling che prevede la bagnatura del prodotto all'interno dell'autoclave durante la fase di depressione. Tale pratica, oltre che consentire una più rapida ed uniforme refrigerazione per taluni prodotti (broccoli, sedano, granoturco dolce), consente di ridurre le perdite di peso del 50%, con lo stesso tempo di trattamento del processo normale.

Il principale componente dell'impianto di prerefrigerazione sottovuoto è l'autoclave, cioè la struttura in cui vengono collocati i prodotti da refrigerare e collaudata per resistere a circa 1 kg/cm^2 di pressione. All'interno dell'autoclave il vuoto viene effettuato mediante una pompa di tipo rotativo dalla cui potenza dipende la rapidità del ciclo di refrigerazione. Il gruppo condensatore non è altro che una batteria refrigerante ad elevata capacità in cui, tramite la valvola d'espansione, il liquido arriva a bassa pressione e bassa temperatura all'interno di serpentine che hanno il compito di assorbire il calore. Il gruppo condensatore può esser locato all'interno dell'autoclave oppure adiacente ad esso, nella condotta di evacuazione dell'aria. Il fluido frigorifero in forma gassosa, ma sempre a bassa pressione, viene raccolto quindi nel serbatoio del liquido refrigerante. Mediante un compressore il gas a bassa

pressione viene trasformato in liquido all'interno delle batterie dell'evaporatore condensativo. Al momento del funzionamento dell'impianto il liquido è pompato nel serbatoio da dove, tramite la pompa a bassa pressione viene inviato nuovamente alla valvola d'espansione.

Prerefrigerazione con ghiaccio

Una delle tecniche di prerefrigerazione più diffusa è quella basata sull'impiego del ghiaccio in scaglie disposto a contatto con tutto il prodotto (body icing) o soltanto sulla superficie (top icing).

L'applicazione di tale pratica è limitata dalla sensibilità di molti prodotti al diretto contatto con il ghiaccio, dal continuo gocciolamento dell'acqua sul pavimento, dalla necessità di operare una perfetta distribuzione del ghiaccio sul prodotto e dall'aumento del peso lordo. Inoltre è indispensabile un perfetto funzionamento dell'impianto frigorifero per evitare la formazione di croste di ghiaccio che impedirebbero la ventilazione dei prodotti interni alla confezione. I maggiori problemi riguardanti questa tecnica sono l'alto costo energetico per la produzione del ghiaccio e il peso del ghiaccio che sostituisce il peso del prodotto nel trasporto (1 kg di ghiaccio x 4 kg di prodotto).

Refrigerazione ad alta umidità relativa

Uno dei maggiori problemi che si verificano nell'impiego della conservazione refrigerata dei prodotti ortofrutticoli è la carenza di umidità relativa nell'ambiente di conservazione. La realizzazione di materiali plastici ha in parte consentito la risoluzione di tale problema. La risoluzione è parziale in quanto l'adozione di film plastici, e la conseguente creazione di una barriera alla circolazione dell'aria attraverso il prodotto confezionato, comporta il prolungamento dei tempi di refrigerazione e, nel caso di sbalzi termici, la formazione di condensa all'interno delle confezioni. La soluzione di tali inconvenienti si può avere con l'impiego di film perforati il cui uso però rappresenta indubbiamente un costo aggiunto di materiale che mal si adatta a quei prodotti il cui prezzo di mercato è generalmente basso. Nel sistema ad intercapedine (jacketed system) l'aria refrigerata, anziché essere in contatto diretto con il prodotto stoccato, circola nello spazio creato da una doppia parete, un doppio pavimento e un doppio soffitto. In pratica la refrigerazione del prodotto avviene indirettamente con conseguente riduzione del ΔT . Il raffreddamento ad aria umida consente di mantenere un tasso igrometrico pari al 97% nell'ambiente di conservazione.

I vantaggi che tale sistema presenta vanno dalla rapidità di raffreddamento alla elevata umidità relativa, alla temperatura di conservazione costante, nonché ad una adeguata ventilazione. Gli svantaggi invece sono rappresentati dalla necessità di un ampio spazio per la vasca di accumulo e dal costo di gestione che può essere ridotto, però, facendo funzionare il compressore frigorifero nelle ore non di punta. Tale tecnica può essere utilmente impiegata nella conservazione di ortaggi (cavolfiori, broccoli, asparagi, fagiolini) e di fiori, permettendo tempi di conservazione che oscillano dalle 2 alle 8 settimane

Conservazione

Molta attenzione deve esser rivolta all'impianto frigorifero affinché mantenga una umidità relativa attorno al 90%. In particolare deve esser sempre richiesto un ΔT

(differenza di temperatura tra l'evaporatore la temperatura di cella) di massimo 5. Dobbiamo considerare che gli impianti frigoriferi sono la causa del 60% del consumo energetico in un'azienda di conservazione e commercializzazione di ortofruttili e sono grandemente responsabili dell'emissione di CO₂ nell'ambiente. Quindi l'ottimizzazione dell'impianto è fondamentale: conoscenza della temperatura e dell'umidità relativa per il prodotto da conservare. Rivolgersi a aziende esperte del settore che operano con i prodotti ortofruttili per la lunga conservazione.

Nel capitolo che segue vengono riportate le informazioni dettagliate per la gestione postraccolta di carciofo, lattuga, peperone, pomodoro da mensa e zucchini.

La gestione postraccolta di carciofo, lattuga, peperone, pomodoro da mensa, zucchini

F. Mencarelli

DISTA – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali – Università della Tuscia, Viterbo, Via DeLellis snc - 01100, Viterbo * mencarel@unitus.it

Carciofo

Con il termine di carciofo (*Cynara scolymus* L.) si intende l'insieme delle varietà di carciofi da quelli globosi con spine poco evidenti (tipo Romanesco) a quelli piuttosto allungati con spine pronunciate (tipo spinoso) o poco evidenti (tipo violetto senza spine).

Indici di maturità e metodi di determinazione

Per il carciofo, la maturità fisiologica e la maturità commerciale sono ben distanti nel tempo. Parlare di indice di maturità vuol dire stabilire il momento per la raccolta. In effetti per il carciofo, si può parlare soltanto di maturità commerciale anche se il termine di maturità è improprio.

Il momento idoneo per la raccolta deve essere quando le brattee risultano ben chiuse (serrate) e il carciofo ha raggiunto la dimensione tipica della varietà, la pezzatura, che viene rilevata mediante calibri circolari che misurano il diametro trasversale. Per quanto concerne i carciofi della categoria Extra e I, il calibro può andare da un minimo di 6 ad un massimo di 13 cm e oltre. Per alcune varietà sono ammessi calibri molto più piccoli, da 3.5 a 6 cm.

Per la valutazione della compattezza delle brattee del carciofo per la raccolta può essere adottata la seguente scala con valore 3 per brattee molto serrate, 2 leggermente aperte e 1 completamente aperte. I valori 2 e 3 corrispondono ai migliori stadi di maturità.

All'apertura del carciofo, il fiore (denominato commercialmente pappo) deve essere appena pronunciato.

Indici di qualità

In questo disciplinare si acquisisce il testo ufficiale della norma (Reg. CEE 79/88 e 333/88). I parametri di qualità che devono essere considerati per i carciofi della categoria Extra sono:

- *forma*: tipica della varietà;
- *colore*: tipico della varietà;
- *apparenza*: senza alcun tipo di lesione inclusi segni di avvizzimento delle brattee o dello stelo (gambo), macchie di residui di pesticidi o di terra;
- *compattezza delle brattee*: valutata visivamente come descritto sopra;
- *turgidità* (consistenza del carciofo): valutata soggettivamente come indicato di seguito:

- valore 3 = molto turgido (non cede ad una lieve compressione tra il pollice e l'indice: tale valore di compressione può essere quantificato usando un penetrometro, tenendolo tra pollice e indice e applicando una pressione di circa 3 kg);
- valore 2 = turgido (cede leggermente ad una lieve compressione);
- valore 1 = avvizzito (cede facilmente ad una lieve compressione).

Per la distribuzione nell'ambito di alcuni giorni o per la conservazione raccogliere rispettivamente al valore 2 e 3 di compattezza.

Le categorie di qualità inferiori all'Extra consentono la presenza di lievi difetti.

La qualità igienico-sanitaria è riferita alla presenza di residui di pesticidi provenienti dai trattamenti in campo in quanto i trattamenti postraccolta sono vietati in Italia. Attenzione deve essere rivolta anche a qualsiasi fonte di inquinamento esterno (da metalli o microorganismi nelle acque di lavaggio, da escrementi di animali) per cui devono essere individuati i "punti critici" del processo di lavorazione per poi eliminarli secondo le regole del sistema HACCP (Hazards Analysis Critical Control Points). Per il processo di condizionamento del carciofo tali punti critici sono da individuare nei residui di pesticidi e nella contaminazione da acque di lavaggio o di preraffreddamento.

Raccolta

Il carciofo è uno degli ortofrutticoli con la più intensa attività respiratoria per cui la modalità di raccolta assume una particolare importanza.

In periodo caldo o in zone calde: nelle prime ore del giorno per ridurre al minimo l'accumulo di "calore di campo" e anche perché la respirazione è ridotta e quindi anche l'emissione del calore di respirazione.

In periodo freddo o in zone fredde: meglio eseguirla nel pomeriggio per favorire maggior fotosintesi (maggiore dolcezza e morbidezza delle foglie).

La raccolta, manuale, deve essere eseguita mediante taglio netto (meglio se trasversale) dello stelo a 10 cm dalla base del capolino. Una prelavatura dovrebbe essere effettuata in campo rimuovendo le eventuali foglie residue dal gambo. I carciofi devono essere posti all'interno di contenitori di plastica o cartone per evitare danni meccanici alle brattee che evolvono in macchie bruno-nero. Nel caso di quelli spinosi questa fase richiede particolare cura per evitare le ferite delle spine sui carciofi. Assolutamente non gettare i carciofi all'interno del contenitore. Anche a costo di tempi più lunghi di raccolta, disporre i carciofi in modo ordinato all'interno del contenitore; eventualmente usare le foglie tra gli strati di carciofi o giornali bagnati che oltre ad una protezione contro le lesioni riparano dalla radiazione solare (in aree calde o periodi caldi).

Si deve sempre ricordare che il carciofo è caratterizzato da un'intensa traspirazione e respirazione per cui qualsiasi ulteriore lesione aumenta la perdita di vapor acqueo e quindi il calo peso.

Regole per una raccolta ottimale

1. mantenere le mani pulite; evitare le unghie lunghe;
2. raccogliere solo i carciofi allo stadio desiderato di maturità e fare una selezione di qualità già in campo; distaccare i capolini usando coltelli affilati;
3. non gettare i carciofi ma adagiarli nel contenitore;
4. evitare eccessivo compattamento e lo sfregamento dei capolini all'interno del contenitore;
5. evitare sempre di scaricare i carciofi da un contenitore su una superficie dura facendoli compiere un balzo;
6. evitare il mantenimento dei carciofi al sole durante la raccolta e portarli il più rapidamente possibile in magazzino per la lavorazione.

Alterazioni postraccolta e precauzioni

Alterazioni di tipo meccanico o fisico

da **impatto** (derivano da altezze di caduta superiori ai 40 cm su superfici rigide durante la raccolta o nella linea di condizionamento): si manifestano esteriormente con fratture delle brattee; *evitare* di gettare i carciofi nei contenitori di raccolta e di scaricarli sui tavoli della linea di lavorazione facendoli compiere balzi;

da **compressione** (derivano da pressione dei carciofi su superfici rigide, tipo cassette di legno o plastica, quando viene eseguito il compattamento nei contenitori): le lesioni dipendono dallo stadio di maturità del carciofo, quanto più è compatto più facilmente si fratturano le brattee; *evitare* di compattare eccessivamente i capolini all'interno dei contenitori; *usare* contenitori di cartone;

da **abrasione** (derivano da sfregamenti dei carciofi contro superfici rigide ma soprattutto ruvide, sia al momento della raccolta che nella linea di condizionamento, ma anche dalla puntura delle spine): la lesione si può presentare, dipendendo dall'entità della lesione, con rotture del tessuto profonde o superficiali che comunque virano al marrone scuro; *evitare* di gettare i carciofi all'interno dei contenitori; *usare* contenitori di cartone o di plastica anziché di legno, se si usa quest'ultimo materiale disporre sul fondo e sui bordi carta o altra materiale di protezione sempreché non nocivo per la salute del consumatore, *impilare* con cura i contenitori al di sopra della pedana.

Alterazioni di tipo fisiologico

danno da congelamento (si manifesta nei carciofi generalmente in campo per quelli a raccolta invernale quando la temperatura scende sotto -1°C anche se la tolleranza può essere anche a temperature di -2°C ma solo per alcune ore; dopo la raccolta la tolleranza si abbassa sensibilmente); se lieve si presenta sotto forma di vescicole superficiali e l'apparenza di bronzatura che nei carciofi violetti, può essere indice di alta qualità; se il congelamento è più grave si presentano edemi sulle brattee e all'interno il cuore si inscurisce e con il tempo diventa gelatinoso; *evitare* dopo la raccolta l'esposizione al di sotto dei limiti termici indicati e se i frutti sono stati esposti a tali temperature riportarli gradualmente alla temperatura corretta;

danno da anidride carbonica (si manifesta quando la concentrazione di CO₂ supera il 2% e dipende dalla durata di esposizione; può accadere nel confezionamento in film plastico); l'eziologia consiste in un annerimento della porzione bianca delle brattee interne; *evitare* il confezionamento in film plastici a bassa permeabilità ai gas; *facilitare* la circolazione dell'aria fredda tra i carciofi nel caso di confezionamento alla rinfusa; *mantenere* bassa la temperatura;

avvizzimento (si evidenzia in condizioni di mantenimento non ottimali quando la temperatura è troppo alta, l'umidità relativa troppo bassa e la ventilazione troppo elevata; limite di perdita di peso per la dequalificazione commerciale 4%); si manifesta con perdita di compattezza del capolino a causa della perdita di turgore; le brattee esterne diventano opache ed elastiche; lo stelo flette facilmente; in condizioni estreme si notano macchie nere alla base delle brattee interne; *raccogliere* con temperature non alte, *mantenere* alta l'umidità relativa (> 90%), bassa la temperatura, bassa la ventilazione; bagnare quando possibile.

Alterazioni di tipo patologico

Gli attacchi microrganici sul carciofo non sono molto frequenti e sono sempre conseguenza di errate condizioni di condizionamento e di conservazione che provocano formazioni di ferite o di condensa. Gli attacchi più frequenti sono dovuti a *Botrytis cinerea* e *Erwinia carotovora*. Trattamenti postraccolta sono proibiti per cui la difesa consiste in un'adeguata protezione in campo e attenzione nella fase di condizionamento e di conservazione.

Preparazione per il mercato (condizionamento)

Le operazioni di condizionamento iniziano dal momento della raccolta fino al carico sul mezzo di trasporto; per il carciofo queste possono essere condotte in due situazioni, in campo e nel magazzino come riportato nel diagramma (Figura 43).

In campo

1. *taglio, rifinitura, selezione e calibrazione (a diametro trasversale)*: direttamente in campo eseguito da due operatori uno che taglia e mette sul nastro i carciofi, l'altro che controlla la qualità, rifinisce lo stelo (a 10 cm) rimuovendo eventuali foglie, controlla il calibro;
2. *confezionamento*: l'operatore sul mezzo semovente mette i carciofi nel contenitore;
3. *pallettizzazione dei contenitori e trasporto* all'impianto di preraffreddamento o di conservazione refrigerata.

In magazzino

1. *Scarico a secco o in acqua*: a secco richiede una maggior attenzione, evitare balzi ai carciofi superiori ai 40 cm; in acqua (solo per carciofi raccolti già defogliati) per evitare i danni meccanici e richiede la sanitizzazione dell'acqua con sostanze autorizzate e nel caso di riciclaggio dell'acqua l'adozione di filtri o lampade UV, e anche l'innalzamento dell'acidità con acido citrico (700-1000 ppm); in questo caso lo scarico in acqua serve anche da lavaggio;
2. *Rifinitura*: taglio dello stelo a 10 cm e conseguente rimozione delle foglie;

3. *Lavaggio e asciugatura*: condotto con getti d'acqua a pioggia molto diffusa e a bassa intensità con ugelli posti ad altezze non superiori ai 20 cm rispetto alla superficie dei carciofi, con acqua opportunamente disinfettata (cloro attivo 150-200 ppm) e acidificata con acido citrico; avanzamento dei carciofi su nastri oscillanti per rimuovere l'acqua in eccesso o su cilindri ruotanti di spugna per assorbire l'acqua in eccesso; asciugatura con getti di aria forzata;
4. *Calibrazione*: a diametro trasversale in base alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/88);
5. *Selezione qualitativa*: per la classificazione delle categorie di qualità valgono le norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/ 88); l'attenzione deve esser rivolta alle deformazioni, alla presenza di lesioni o macchie esterne, alla lassità delle brattee che è un indice di maturità avanzata, alla turgidità; la migliore selezione è ancora quella umana, particolare attenzione deve esser rivolta alle condizioni di operatività; assicurare una perfetta e uniforme illuminazione del nastro trasportatore (luce bianca e lampade a 100-120 cm d'altezza dal nastro) e un idoneo flusso di carciofi;
6. *Confezionamento*: si rimanda alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/88); nel caso delle confezioni con disposizione ordinata, evitare di comprimere i carciofi per farli allocare nella propria sede; una perfetta calibrazione è indispensabile; il materiale di imballaggio preferibile è sicuramente il cartone per l'effetto "cushioning" cioè di ammortizzamento di traumi da compressione; nel caso si impieghi altro materiale, soprattutto legno, è consigliabile l'uso di materiali di protezione tra imballaggio e carciofi (carta, fogli di materiali espansi). Ogni confezione dovrà riportare, in modo visibile e chiaro, la categoria commerciale di appartenenza, il peso del prodotto, la varietà e un codice di rintracciabilità. Meglio se viene anche indicato l'eventuale trattamento di prerrefrigerazione.

Prerrefrigerazione

E' indispensabile per i carciofi raccolti nei periodi particolarmente caldi perché oltre ad avere una intensa produzione di calore di respirazione, assorbono anche una notevole quantità di "calore di campo" e quindi sono soggetti ad un'elevata traspirazione. Prerrefrigerare quando la temperatura supera i 20°C e portare alle temperature ottimali indicate ma anche a temperature al di sotto del limite termico se i tempi di distribuzione sono brevi.

Idrorefrigerazione

Per questo tipo di prerrefrigerazione è importante la sanificazione dell'acqua; nel caso si impieghi l'ipoclorito di sodio, la concentrazione di cloro deve essere 100-150 ppm; per la comune candeggina commerciale al 5% di ipoclorito di sodio usare 2.7 L/1000L di acqua; a pH alcalino il cloro diventa meno efficace. D'altra parte per il carciofo è altresì importante l'acidificazione dell'acqua con acido citrico o altri acidificanti ammessi.

per **immersione** in acqua fredda del prodotto sfuso all'inizio della linea di condizionamento quando il prodotto arriva dal campo; è molto rapido per il contatto diretto dell'acqua con il frutto; con acqua a 1°C la temperatura dei carciofi passa dai

22°C a circa 5°C in 5-8 min per i piccoli carciofi e circa 15 min per quelle più grandi; l'acqua dovrebbe esser mantenuta sempre intorno agli 0°C;

per **aspersione** (200-250 L/min-m² per una rapida refrigerazione nel caso di prodotti confezionati) per carciofi già confezionati in contenitori di legno, cartone (cerato) o di plastica; temperatura dell'acqua prossima a 0°C; attenzione nella distanza (20 cm) degli ugelli o della vasca perforata dai cespi per evitare danni da pioggia (punteggiature e maculature); i tempi sono dipendenti dalla temperatura dell'acqua e dal contatto di questa con i carciofi e comunque sono leggermente più lunghi del metodo precedente.

Aria forzata

E' questo il sistema, dopo quello della cella frigorifera standard, più semplice anche se richiede o tunnel di refrigerazione od opportune disposizioni del carico e modificazioni della cella frigorifera; solo per prodotti confezionati e avvolti, o coperti, con film plastici; i tempi sono piuttosto lunghi (diverse ore) dipendendo la durata dal sistema impiegato (parete fredda, a serpentina, tunnel), dalla velocità dell'aria, dalla temperatura della cella, dalla disposizione dei contenitori e dal confezionamento dei carciofi (contenitori senza aperture laterali aumentano i tempi di refrigerazione di circa 5 volte). La portata d'aria per unità di prodotto è generalmente intorno a 1 L/sec-kg. E' importante l'ampiezza dei canali tra i contenitori che deve permettere una velocità d'aria fredda alla velocità di 5-7.5 m/sec.

Conservazione

La conservabilità del carciofo è limitata dal fatto che il fiore continua a crescere soprattutto a seguito della pratica di bagnatura, le brattee induriscono e tendono ad aprirsi.

I carciofi possono esser conservati per 2-3 settimane a temperature di 0-1°C e umidità relativa attorno al 95%. In tal caso meglio se la superficie del contenitore con i carciofi è coperta con film plastico. E' indispensabile comunque non disporre i contenitori con i carciofi direttamente sulla gittata dei ventilatori perché potrebbero congelare. Se non si può fare altrimenti, disporre dei cartoni sulla superficie dei contenitori collocati in corrispondenza della gittata in modo che l'aria fredda arrivi alla parte opposta della cella e scenda verso il basso riscaldandosi.

L'atmosfera protettiva (vaschetta e film plastico) viene spesso usata per la commercializzazione quindi per pochi giorni di mantenimento. In quest'ultimo caso il film plastico generalmente impiegato è del tipo estensibile e quindi con alta permeabilità che non consente lunghi periodi di conservazione. Tale film non è il più idoneo ma si adatta bene per il confezionamento al dettaglio. A causa dell'alta respirazione si devono richiedere film plastici a media-alta permeabilità ai gas e bassa permeabilità al vapor acqueo e possibilmente biodegradabili. In questi casi è importante evitare gli sbalzi termici per impedire la formazione di condensa.

Trasporto

Il trasporto dei carciofi deve esser condotto alle stesse temperature da usare per la conservazione e la diminuzione rispetto al limite termico dipende dalle distanze di trasporto.

- Temperatura: 0-1°C;
- Umidità relativa: 95%;
- Ventilazione: 50-70 volumi/ora (se protetta con film plastico, altrimenti più bassa).

Particolare attenzione rivolta allo stivaggio sia per evitare congelamenti (come detto sopra per la conservazione) sia per assicurare il flusso d'aria (refrigerata) uniforme su tutto il carico e quindi per evitare ristagni di umidità che possono determinare la comparsa di alterazioni microorganiche e accumuli di CO₂.

Controllare la sanità del container.

Se il container è refrigerato portarlo a temperatura prima del carico e lasciarlo acceso durante il caricamento se l'area di carico è refrigerata e se il prodotto è prerrefrigerato; se l'area di carico non è refrigerata caricare rapidamente in 15- 20 min. e portare la temperatura all'interno del container circa 3°C più alta rispetto alla desiderata; se il caricamento è più lento la temperatura del container deve esser portata circa 3°C sotto la metà della differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella desiderata.

Non caricare a ridosso delle pareti né in contatto con il soffitto; assicurare il carico.

Nel caso di carichi misti e di lunghe distanze di trasporto (estero) considerare le richieste termoigrometriche dei vari prodotti e eventuali emissioni particolari.

La bagnatura dei carciofi prima del caricamento, se non prerrefrigerati, aiuta la conservabilità del prodotto, anche se può creare problemi di sviluppo di marciumi se la refrigerazione non è perfettamente efficiente.

Merchandising

Il merchandising dei carciofi è principalmente legato alla loro freschezza intesa come turgidità e brillantezza delle brattee. Quindi i carciofi, qualsiasi sia la varietà, quando disposti sfusi nel comparto (sempre refrigerato) di esposizione al consumatore devono esser sempre rivolti verso il consumatore, ben serrati tra loro, oppure disposti sdraiati per mostrare il gambo e comunque sempre serrati tra loro; eventualmente ricoperti di gocce d'acqua (per aspersione da parte dell'operatore). Eliminare le foglie. Ritagliare la superficie di taglio quando inscurita. Nel corso della notte devono esser immersi in acqua acidulata. Non eccedere in queste operazioni in quanto, comunque, i carciofi con il passar dei giorni, subiscono un progressivo invecchiamento senza sintomi apparenti e quindi non è corretto nei confronti del consumatore.

Scheda

1. Conservazione

Temperatura	Umidità Relativa
0-1°C	90-95%

2. Produzione di etilene

molto bassa	<0.1 µL/kg-ora a 20°C
-------------	-----------------------

3. Sensibilità all'etilene

molto bassa

4. Respirazione in condizioni di buio

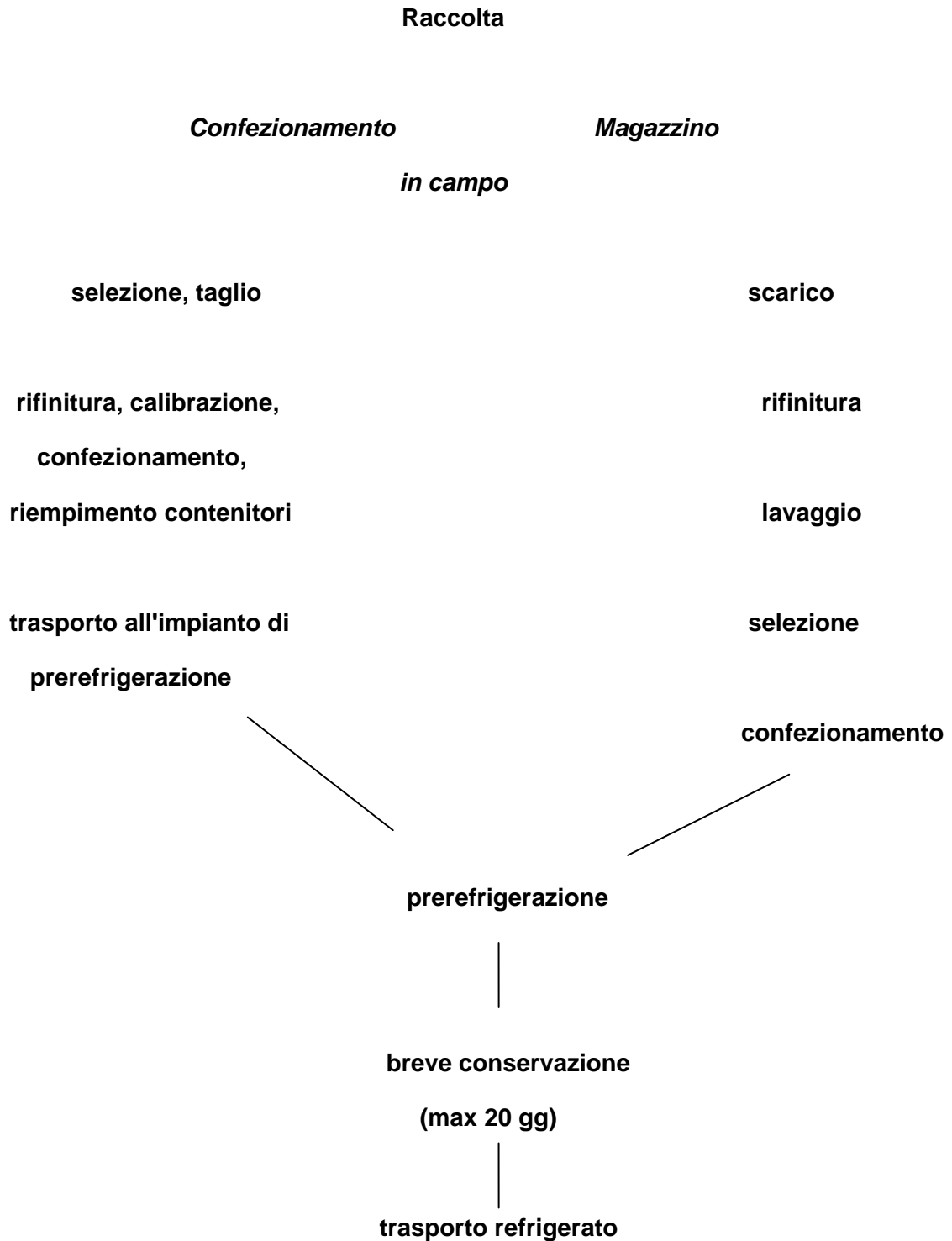
temperatura	ml/kg-ora
0°C	5-15
10°C	20-50
20°C	50-120

l'entità di respirazione dipende dalla varietà

per calcolare il calore di respirazione in J/kg-ora si deve moltiplicare il valore di respirazione per 10.7 oppure per 122 e si ottiene in kcal/ton-giorno.

Punto di congelamento	-1.2°C
Contenuto in acqua	83-87%
Calore specifico	3.6-3.7 kJ/kg-°C

PREPARAZIONE PER IL MERCATO



Le operazioni e la loro sequenza possono cambiare in funzione della tipologia azienda.

Figura 43 Diagramma carciofo

Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua

Controllare frequentemente la concentrazione di sostanze sanizzanti se cloro attivo (75-100 ppm);

Acidificare l'acqua con acido citrico (700-1000 ppm);

Scaricare completamente l'acqua dalla vasca alla fine di ogni giorno di lavorazione e riempirla nuovamente con acqua pulita;

Usare tutte le sostanze in accordo con le indicazioni delle etichette.

Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione

L'acqua refrigerata deve essere il più possibile in contatto con la superficie del prodotto;

L'acqua deve circolare sul prodotto, non essere statica;

L'acqua deve essere sanizzata e acidificata;

L'acqua deve essere fredda;

Se sul confezionato usare contenitori di materiale impermeabile non chiudere i cartoni durante il trattamento;

Controllare la temperatura all'interno del carciofo al termine del trattamento;

Se l'acqua viene riciclata usare filtri sgrassanti e impiegare l'ozono.

Raccomandazioni per l'aria forzata

Usare contenitori con aperture sui lati o sul fondo almeno del 5% dell'intera superficie;

Stivare in maniera opportuna le pedane con i contenitori con i frutti così da permettere l'adeguato flusso d'aria fredda; il sistema deve ridurre al minimo le possibilità di uscita dell'aria fredda da punti non desiderati;

Usare ventilatori con adeguata potenza per creare la richiesta depressione nel caso dei tipi a parete fredda o a serpentina;

Assicurare la bassa temperatura dell'aria di cella e che l'aria fredda circoli attorno ai prodotti;

Controllare la temperatura all'interno del carciofo al termine del trattamento.

Lattuga

Con il termine di lattuga si intende riferirci alle varietà derivate dalla *Lactuca sativa* L. capitata (lattuga a cappuccio compresa quella riccia), dalle varietà derivate dalla *Lactuca sativa* L. longifolia (lattuga romana) e da incroci di queste varietà.

Indici di maturità e metodi di determinazione

Per la lattuga, la maturità fisiologica e la maturità commerciale sono ben distanti nel tempo. Parlare di indice di maturità vuol dire stabilire qual'è il momento per la raccolta. In effetti per la lattuga, si può parlare soltanto di maturità commerciale anche se il termine di maturità è improprio. La maturità commerciale della lattuga corrisponde al momento in cui la pianta raggiunge la pezzatura tipica della specie o varietà senza aver sintomi iniziali di prefioritura. Con il termine di pezzatura ci si riferisce al peso del cespo: a parità di peso due cespi possono aver diametro trasversale differente e in questo consiste la differenziazione qualitativa. La determinazione della maturità commerciale viene condotta solo visivamente.

Indici di qualità

In questo disciplinare si acquisisce il testo ufficiale della norma (Reg. CEE 79/88 e 333/88). I parametri di qualità che devono esser considerati per i cespi sono:

- *forma*: tipica della specie;
- *colore*: tipico della specie;
- *apparenza*: senza alcun tipo di lesione inclusi segni di avvizzimento fogliare;
- *consistenza (o compattezza)* valutata soggettivamente per compressione del cespo tra due mani; è legata allo stadio di maturità; questa può esser suddivisa con la seguente scala di punteggio:
 - Valore 1 = cespo morbido, facilmente deformabile a leggera compressione (500 a 1000g) tra le due mani;
 - Valore 2 = cespo parzialmente compatto, leggermente deformabile a leggera pressione tra le due mani;
 - Valore 3 = cespo compatto, non deformabile a leggera compressione;
 - Valore 4 = cespo duro, immaturo, le foglie si fratturano facilmente.

La qualità igienico-sanitaria è riferita alla presenza di residui di pesticidi provenienti dai trattamenti in campo in quanto i trattamenti postraccolta sono vietati in Italia (vedere tabella per i tempi di carenza e il residua massimo ammesso, RMA). Attenzione deve esser rivolta anche a qualsiasi fonte di inquinamento esterno (da metalli o microorganismi nelle acque di lavaggio, da escrementi di animali) per cui devono esser individuati i "punti critici" del processo di lavorazione per poi eliminarli secondo le regole del Manuale di Corretta Prassi Igienica.

Raccolta

La raccolta della lattuga deve essere effettuata nelle prime ore del giorno per ridurre al minimo l'accumulo di "calore di campo" e anche perché la respirazione è ridotta e quindi anche l'emissione del calore di respirazione.

La raccolta, manuale, deve essere eseguita mediante taglio alla base del cespo. Il taglio deve essere il più orizzontale possibile. Una prelavazione dovrebbe essere effettuata in campo rimuovendo le foglie fratturate o eliminando i cespi difettosi. La miglior soluzione sarebbe quella di confezionare in film plastico (perforato o non dipende dal tipo di preraffreddamento) direttamente in campo. Nel caso non si adotti tale soluzione, i cespi dovrebbero essere posti nei contenitori da raccolta avendo cura di evitare lesioni alle foglie. Si deve sempre ricordare che la lattuga è caratterizzata da una intensa traspirazione per cui qualsiasi ulteriore lesione aumenta questo processo di perdita di vapore acqueo.

Regole per una raccolta ottimale

1. mantenere le mani pulite; evitare le unghie lunghe;
2. raccogliere solo i cespi allo stadio desiderato di maturità e fare una selezione di qualità già in campo; distaccare i cespi usando coltelli affilati;
3. non gettare le lattughe nel contenitore ma adagiarle nel contenitore;
4. evitare eccessivo compattamento dei cespi all'interno del contenitore;
5. evitare sempre di scaricare i cespi da un contenitore su una superficie dura facendoli compiere un salto;
6. raccogliere la mattina presto;
7. evitare il mantenimento dei cespi al sole durante la raccolta e portarli il più rapidamente possibile in magazzino per la lavorazione.

Alterazioni postraccolta e precauzioni

Alterazioni di tipo meccanico o fisico

da **impatto** (derivano da altezze di caduta superiori ai 20 cm durante la raccolta o nella linea di condizionamento, in particolare per le lattughe tipo Iceberg): si manifestano esteriormente con fratture delle nervature centrali delle foglie che dopo qualche ora virano al rosso mattone; *evitare* di gettare i cespi nei contenitori di raccolta e di scaricarli sui tavoli della linea di lavorazione facendoli compiere salti superiori ai 20 cm;

da **compressione** (derivano da pressione dei cespi su superfici dure, tipo cassette di legno o plastica, quando viene eseguito il compattamento nei contenitori): le lesioni dipendono dal tipo di lattuga, quanto più è dura più facilmente si fratturano le foglie; *evitare* di compattare eccessivamente i cespi all'interno dei contenitori; *evitare* che il camion percorra strade accidentate; *usare* contenitori di cartone;

da **abrasione** (derivano da sfregamenti dei cespi contro superfici dure, sia al momento della raccolta che nella linea di condizionamento; più comuni per le lattughe tipo Ghiaccio): la lesione si presenta con arrossamenti superficiali e la foglia

è quasi sempre strappata; *evitare* di gettare i cespi all'interno dei contenitori ma adagiarli; *usare* contenitori di cartone anziché di legno, *impilare* con cura le cassette al di sopra della pedana.

Alterazioni di tipo fisiologico

danno da congelamento: (si manifesta nelle lattughe quando la temperatura scende sotto gli 0°C anche se la tolleranza può essere anche a temperature di -2°C ma solo per alcune ore); si presenta sottoforma di edemi sulle foglie causati da scottature che sono di color scuro su foglie verdi; *evitare* l'esposizione al di sotto dei limiti termici indicati e se i frutti sono stati esposti a tali temperature riportarli gradualmente alla temperatura corretta;

maculatura ferruginea: (si manifesta a seguito dell'esposizione di alcune varietà di lattuga, in particolare il tipo iceberg, o ghiaccio a concentrazioni di etilene superiori a 0.5 ppm); si manifesta con macchie punteggiate rossastre sulle nervature bianche; *evitare* lo stoccaggio o il trasporto con ortofruttili produttori di etilene; *eliminare* qualsiasi residuo in decomposizione all'interno dei magazzini di lavorazione dove la lattuga viene mantenuta per alcune ore; *evitare* l'uso di carrelli elevatori a carburante;

danno da CO₂: (si manifesta quando la concentrazione di CO₂ supera l'1-2% e dipende dalla durata di esposizione); l'eziologia consiste in un arrossamento non punteggiato delle foglie interne del grumolo, spesso accompagnato da disfacimento; *evitare* di conservare o stivare in container da trasporto per diverse ore i contenitori di lattuga troppo stretti tra loro; *facilitare* la circolazione dell'aria fredda tra i cespi; *mantenere* bassa la temperatura;

ingiallimenti fogliari: (si manifestano quando i cespi vengono mantenuti a temperatura ambiente e nell'oscurità per diverse ore e/o in contatto con alte concentrazioni di etilene); sono sintomi di invecchiamento; *mantenere* bassa la temperatura; *evitare* accumuli di etilene nell'ambiente di mantenimento; *tenere* possibilmente in condizioni di luminosità;

avvizzimenti: (si evidenziano in condizioni di mantenimento non ottimali quando la temperatura è troppo alta, l'umidità relativa troppo bassa e la ventilazione troppo elevata; limite di perdita di acqua = 2-4%); si manifestano con raggrinzimento della pagina fogliare e perdita di turgore per cui le foglie esterne del cespo flettono verso il basso spesso distaccandosi; *mantenere* alta l'umidità relativa (> 90%), bassa la temperatura, bassa la ventilazione.

Alterazioni di tipo patologico

Gli attacchi microrganici sulla lattuga non sono molto frequenti e sono sempre conseguenza di errate condizioni di condizionamento che provocano formazioni di ferite oppure fenomeni di condensa o di asfissia. Gli attacchi più frequenti sono dovuti a *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Erwinia carotovora*. Trattamenti postraccolta sono proibiti per cui la difesa consiste in un'adeguata protezione in campo e attenzione nella fase di condizionamento.

Preparazione per il mercato (condizionamento)

Le operazioni di condizionamento iniziano dal momento della raccolta fino al carico sul mezzo di trasporto; per la lattuga queste possono essere condotte in due situazioni, in campo e nel magazzino come riportato nel diagramma (Figura 44).

In campo

1. *taglio, rifinitura, selezione e calibrazione (a peso)*: tutto avviene direttamente in campo eseguito da due operatori uno che taglia e mette sul nastro i cespi, l'altro che controlla la qualità, rifinisce il cespo rimuovendo eventuali foglie lesionate, controlla il calibro che comunque viene già controllato dal raccogliitore; attenzione al taglio che deve essere netto e il più possibile orizzontale e alla posa sul nastro;
2. *nconfezionamento singolo*: l'operatore sul mezzo semovente avvolge il cespo in film plastico (perforato e non) e mette nel contenitore;
3. *pallettizzazione dei contenitori e trasporto* all'impianto di preraffreddamento o di conservazione refrigerata.

In magazzino

1. *Scarico a secco o in acqua*: a secco richiede una maggior attenzione, evitare salti ai cespi superiori ai 30 cm; in acqua per evitare i danni meccanici e richiede la sanitizzazione dell'acqua con sostanze autorizzate e nel caso di riciclaggio dell'acqua l'adozione di filtri; la temperatura dell'acqua deve essere superiore o uguale a quella della lattuga;
2. *Rifinitura*: rimozione delle foglie lesionate e eventuale ritaglio della porzione basale dello stelo;
3. *Lavaggio e asciugatura*: condotto con getti d'acqua a pioggia molto diffusa e a bassa intensità con ugelli posti ad altezze non superiori rispetto alla superficie dei cespi di 20 cm, con acqua opportunamente disinfettata (cloro attivo 150-200 ppm) e a temperatura superiore a quella dei cespi; avanzamento dei cespi su nastri oscillanti per rimuovere l'acqua in eccesso (attenzione ai danni da impatto) o su cilindri ruotanti di spugna per assorbire l'acqua in eccesso; asciugatura con getti di aria forzata;
4. *Calibrazione*: a peso in base alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/88);
5. *Selezione qualitativa*: per la classificazione delle categorie di qualità valgono le norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/88); la migliore selezione è ancora quella umana, particolare attenzione deve essere rivolta alle condizioni di operatività; gli operatori (uomini o donne) è meglio che siano sempre gli stessi anno dopo anno per assicurare una maggior esperienza e quindi velocità di lavorazione, fare frequenti turni di rotazione degli operatori (ogni 2 ore), adottare opportuni sgabelli che permettano una posizione tra il seduto e l'eretto e che non affaticano la schiena e le gambe degli operatori, assicurare una perfetta e uniforme illuminazione del nastro trasportatore (luce bianca e lampade a 100-120 cm d'altezza dal nastro);

6. *Confezionamento*: si rimanda alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.79/88, 2333/88); nel caso delle confezioni con disposizione ordinata, evitare di comprimere i cespi per farli allocare nella propria sede; una perfetta calibrazione è indispensabile; il materiale di imballaggio preferibile è sicuramente il cartone per l'effetto "cushioning" cioè di ammortizzamento di traumi da compressione; nel caso si impieghi altro materiale, soprattutto legno, è consigliabile l'uso di materiali di protezione tra imballaggio e cespo (carta, fogli di materiali espansi).

Prerefrigerazione

E' indispensabile per le lattughe raccolte nei periodi particolarmente caldi in quanto il cespo oltre ad avere una intensa produzione di calore di respirazione, assorbe anche una notevole quantità di "calore di campo" e quindi è soggetto ad un'elevata traspirazione. Prerefrigerare quando la temperatura supera i 25°C e portare alle temperature ottimali indicate ma anche a temperature al di sotto del limite termico se i tempi di distribuzione sono brevi.

Idrorefrigerazione

Per questo tipo di prerefrigerazione è importante la sanificazione dell'acqua; nel caso si impieghi l'ipoclorito di sodio, la concentrazione di cloro deve essere 100-150 ppm; per la comune candeggina commerciale al 5% di ipoclorito di sodio usare 2.7 L/1000L di acqua; a pH alcalino il cloro diventa meno efficace; oggi tuttavia dati i problemi relativi alla formazione di composti cancerogeni come i trialometani a seguito del trattamento con cloro dell'acqua ricca in sostanza organica, sarebbe preferibile usare acqua ozonata che garantisce dopo filtrazione sgrassante, l'abbattimento del BOD (biological organic demand) vale a dire della carica microrganica, consentendo quindi il riciclo dell'acqua e quindi il risparmio sia economico che di impatto ambientale.

La dimensione del prerefrigeratore è ottenibile moltiplicando la capacità del nastro trasportatore per l'area occupata dall'unità di prodotto. La tecnica per **aspersione** richiede 280-490 L/min-m² per una rapida refrigerazione nel caso di prodotto sfuso su nastro e 800-1000 L/min-m² nel caso di lattuga già confezionata in film plastico e cartone o contenitore di plastica; attenzione nella distanza (20 cm) degli ugelli o della vasca perforata dai cespi per evitare danni da pioggia (punteggiature e maculature); necessità di contenitori di materiale impermeabile (plastica o cartone cerato); i tempi sono dipendenti dalla temperatura dell'acqua e dal contatto di questa con i cespi e comunque sono intorno ai 60 min.

Aria forzata

E' questo il sistema, dopo quello della cella frigorifera standard, più semplice anche se richiede o tunnel di refrigerazione od opportune disposizioni del carico e modificazioni della cella frigorifera; solo per prodotti confezionati e avvolti, o coperti, con film plastici; i tempi sono piuttosto lunghi (diverse ore) dipendendo la durata dal sistema impiegato (parete fredda, a serpentina, tunnel), dalla velocità dell'aria, dalla temperatura della cella, dalla disposizione dei contenitori e dal confezionamento dei frutti (contenitori senza aperture laterali aumentano i tempi di refrigerazione di circa 5 volte). La portata d'aria per unità di prodotto è generalmente intorno a 1 L/sec-kg. E' importante l'ampiezza dei canali tra i contenitori che deve permettere una velocità

d'aria fredda alla velocità di 5-7.5 m/sec. Non è consigliabile per le insalate visti i tempi lunghi di raffreddamento ma nel caso voglia esser impiegato si avvolga bene il cespo con film plastico non perforato.

Sottovuoto

Questa tecnica di preraffrigerazione si adatta bene alle lattughe dato il loro alto rapporto superficie/massa. La riduzione della temperatura in pochi minuti (18-20°C in 6-8 min.) avviene grazie all'evaporazione dell'acqua dal cespo a temperature prossime agli 0°C in condizioni di trattamento a pressione ridotta (4-5 mm Hg); la perdita di peso può esser evitata aspergendo il prodotto con acqua e avvolgendo i cespi con film plastici perforati. E' comunque una tecnica insostenibile ambientalmente dato l'elevato consumo energetico.

Conservazione

Le lattughe vengono raramente conservate per diversi giorni comunque a temperature di 0-1°C e umidità relativa attorno al 95% possono esser mantenute per 20-30 giorni.

L'atmosfera controllata non è impiegata commercialmente. L'atmosfera modificata (vaschetta e film plastico) viene spesso usata per la commercializzazione quindi per pochi giorni di mantenimento sia per il prodotto intero che per quello tagliato (IV gamma). In quest'ultimo caso il film plastico impiegato è un polistirene. In questi casi è importante evitare gli sbalzi termici per impedire la formazione di condensa. Tale film non è il più idoneo ma si adatta bene al caricamento dei sacchetti verticalmente.

Trasporto

Il trasporto delle lattughe deve esser condotto alle stesse temperature da usare per la conservazione e la diminuzione rispetto al limite termico dipende dalle distanze di trasporto.

- Temperatura: 0-1°C;
- Umidità relativa: 95%;
- Ventilazione: 50-70 volumi/ora (se protetta con film plastico, altrimenti più bassa).

Particolare attenzione rivolta allo stivaggio per assicurare il flusso d'aria (refrigerata) uniforme su tutto il carico e quindi per evitare ristagni di umidità che possono determinare la comparsa di alterazioni microorganiche e accumuli di CO₂.

Controllare la sanità del container.

Se il container è refrigerato portarlo a temperatura prima del carico e lasciarlo acceso durante il caricamento se l'area di carico è refrigerata e se il prodotto è preraffrigerato; se l'area di carico non è refrigerata caricare rapidamente in 15- 20 min. e portare la temperatura all'interno del container circa 3°C più alta rispetto alla desiderata; se il caricamento è più lento la temperatura del container deve esser portata circa 3°C sotto la metà della differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella desiderata.

Non caricare a ridosso delle pareti nè in contatto con il soffitto; assicurare il carico.

Nel caso di carichi misti e di lunghe distanze di trasporto (estero) considerare le richieste termoigrometriche dei vari prodotti e eventuali emissioni particolari (etilene o altri composti volatili).

Merchandising

Il merchandising delle lattughe è principalmente legato alla loro freschezza intesa come turgidità e brillantezza fogliare. Quindi i cespi di lattughe, qualsiasi sia la varietà, quando disposti sfusi nel comparto (sempre refrigerato) di esposizione al consumatore devono esser sempre rivolti con il grumolo verso il consumatore, le foglie ben avvicinate al grumolo, eventualmente ricoperte di gocce d'acqua (per aspersione da parte dell'operatore). Eventuali foglie alterate devono esser immediatamente rimosse. Ritagliare la superficie di taglio quando inscurita. Non eccedere in queste operazioni in quanto, comunque, i cespi con il passar dei giorni, subiscono un progressivo invecchiamento senza sintomi apparenti e quindi non è corretto nei confronti del consumatore. Disporre le lattughe di color verde tra fruttortaggi di color rosso.

Scheda

1. Conservazione

Temperatura	Umidità Relativa
0-1°C	90-95%

Durata: 2-3 settimane ma le condizioni termiche possono variare in funzione dello stadio di maturazione e della varietà.

Impiego dell'atmosfera controllata

Non commerciale e non particolari vantaggi si ottengono se non una lieve riduzione del danno da freddo quando l'anidride carbonica è attorno al 5-7%.

2. Produzione di etilene

molto bassa 0.1-0.5 µL/kg-ora a 20°C

per quelle tagliate 0.5-1

l'entità della produzione dipende dalla varietà.

3. Sensibilità all'etilene

elevata soprattutto per il tipo Iceberg e la scarola

4. Respirazione in condizioni di buio ml/kg-ora

temperatura	cespo	tagliate
0°C	5-15	15-25
10°C	20-40	35-50
20°C	50-60	80-100

l'entità di respirazione dipende dalla varietà

per calcolare il calore di respirazione in J/kg-ora si deve moltiplicare il valore di respirazione per 10.7 oppure per 122 e si ottiene in kcal/ton-giorno.

Punto di congelamento	-0.2°C
Contenuto in acqua	94.8%
Calore specifico	4 kJ/kg-°C

PREPARAZIONE PER IL MERCATO DELLE LATTUGHE



Le operazioni e la loro sequenza possono cambiare in funzione del tipo di lattuga e di azienda.

Figura 44 Diagramma lattuga

Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua

Controllare frequentemente la concentrazione di sostanze sanizzanti se cloro attivo (75-100 ppm); altrimenti consigliato usare ozono;

pH 6.5-7.5;

Scaricare completamente l'acqua dalla vasca alla fine di ogni giorno di lavorazione e riempirla nuovamente con acqua pulita;

Usare tutte le sostanze in accordo con le indicazioni delle etichette;

Per l'idrorefrigeratori usare dei filtri sgrassanti per rimuovere le grosse particelle.

Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione

L'acqua refrigerata deve essere il più possibile in contatto con la superficie del prodotto;

L'acqua deve circolare sul prodotto, non essere statica;

L'acqua deve essere sanizzata;

L'acqua deve essere fredda;

Se sul confezionato usare contenitori di materiale impermeabile non chiudere i cartoni durante il trattamento;

Controllare la temperatura all'interno del frutto al termine del trattamento.

Raccomandazioni per l'aria forzata

Usare contenitori con aperture sui lati o sul fondo almeno del 5% dell'intera superficie;

Stivare in maniera opportuna le pedane con i contenitori con i frutti così da permettere l'adeguato flusso d'aria fredda; il sistema deve ridurre al minimo le possibilità di uscita dell'aria fredda da punti non desiderati;

Usare ventilatori con adeguata potenza per creare la richiesta depressione nel caso dei tipi a parete fredda o a serpentina;

Assicurare la bassa temperatura dell'aria di cella e che l'aria fredda circoli attorno ai prodotti;

Controllare la temperatura all'interno del frutto al termine del trattamento.

Peperone

Con il termine peperone si intende riferirsi ai peperoni dolci delle varietà derivate dal *Capsicum annuum* L. destinati ad esser forniti allo stato fresco al consumatore. Si considerano quattro tipi: i dolci lunghi appuntiti, i dolci quadrati senza punta, i dolci quadrati appuntiti (trottola), i dolci di forma appiattita (topepo).

Indici di maturità e metodi di determinazione

Gli indici di maturità adottati per il peperone sia verde che colorato si basano essenzialmente sulla dimensione, come riportato sul testo ufficiale delle norme di qualità, il cui calibro può variare dai 30 ai 55 mm dipendendo dalla forma del peperone (lungo appuntito, quadrato con o senza punta, topepo).

Altro indice di maturità è il colore che però diversifica soltanto i vari tipi di peperone, verdi, gialli o rossi. La valutazione del colore è puramente soggettiva e visiva. L'impiego del colorimetro che riporta il colore come parametri a (verde-rosso), b (blue-giallo) e L (nero-bianco) che possono esser usati tal quali oppure trasformati in angolo di colore ($\cotg b/a$) e saturazione del colore $(a^2 + b^2)^{1/2}$, è possibile sia per i peperoni verdi che per quelli gialli e rossi. Per quelli verdi il parametro a è negativo (più è elevato il valore maggiore è l'intensità del verde) e b è positivo; per quelli gialli a è appena positivo mentre b è positivo con valori molto alti; per quelli rossi, a e b sono entrambi positivi con il primo che assume valori molto elevati.

Indici di qualità

In questo disciplinare si acquisisce il testo ufficiale della norma (Reg. CEE n.778/83; n.408/90; n. 918/94). I parametri di qualità che devono esser considerati sono:

- *forma*: tipica della varietà o dell'ibrido;
- *colore*: uniformemente distribuito;
- *apparenza*: senza alcun tipo di lesione;
- *consistenza*: valutata soggettivamente per compressione del frutto tra pollice e indice; a una lieve compressione il peperone non deve mostrare cedevolezza.

La qualità igienico-sanitaria è riferita alla presenza di residui di pesticidi provenienti dai trattamenti in campo in quanto i trattamenti postraccolta sono vietati in Italia (vedere tabella per i tempi di carenza e il residua massimo ammesso, RMA). Attenzione deve esser rivolta anche a qualsiasi fonte di inquinamento esterno (da metalli o microorganismi nelle acque di lavaggio, da escrementi di animali) per cui devono esser individuati i "punti critici" del processo di lavorazione per poi eliminarli secondo le regole del Manuale di Corretta Prassi Igienica.

Raccolta

La raccolta del peperone deve esser effettuata nelle prime ore del giorno per ridurre al minimo l'accumulo di "calore di campo" e anche perchè la respirazione è ridotta e quindi anche l'emissione del calore di respirazione.

La raccolta del peperone viene eseguita manualmente e dovrebbe esser condotta per taglio del peduncolo. Particolare attenzione deve esser rivolta al distacco e nell'allocaimento dei peperoni nei contenitori di raccolta. Tutte le operazioni devono esser condotte evitando ferite sia al peduncolo che al frutto, ferite da strappo del peduncolo, da impatto e da sfregamento del frutto. Un'alta percentuale di perdite di peperoni e di loro dequalificazione deriva dalla presenza di lesioni da impatto o da abrasioni che avvengono nella fase di raccolta.

Regole per una raccolta ottimale

1. mantenere le mani pulite; evitare le unghie lunghe;
2. raccogliere solo i peperoni allo stadio desiderato di colorazione e fare una selezione di qualità già in campo; distaccare i peperoni usando coltelli o forbici;
3. non stringere i peperoni nel momento del distacco e non gettarli nel contenitore ma adagiarli o usare sistemi di rallentamento della caduta;
4. non compattare i peperoni nel contenitore da raccolta;
5. evitare sempre di scaricare i peperoni da un contenitore su una superficie dura facendoli compiere un salto.

Alterazioni postraccolta e precauzioni

Alterzioni di tipo meccanico o fisico

da **impatto** (derivano da altezze di caduta superiori ai 30 cm durante la raccolta o nella linea di condizionamento): si manifestano sul peperone sottoforma di fratture superficiali specialmente quando l'impatto avviene sulle punte basali; evitare quindi di gettare i peperoni nei contenitori di raccolta e di farli compiere salti durante la fase di condizionamento;

da **compressione** (derivano da pressione dei peperoni su superfici dure, tipo cassette di legno o plastica, quando viene eseguito il compattamento dei contenitori): si presentano con fratture nelle aree equatoriali se i peperoni sono adagiati orizzontalmente o con aree compresse e leggermente punteggiate, dipendendo dalla superficie, sulle punte basali; evitare di compattare i peperoni all'interno dei contenitori; evitare che il camion percorra strade accidentate; usare contenitori alveolari o di cartone;

da **abrasione** (derivano da sfregamenti dei frutti contro superfici dure, sia al momento della raccolta che nella linea di condizionamento): generalmente l'epidermide del frutto viene rimossa e può apparire il succo interno; il danno è evidente subito dopo l'evento; evitare di gettare i peperoni all'interno dei contenitori ma adagiarli; usare contenitori di cartone anziché di legno, impilare con cura le cassette al di sopra della pedana.

Alterazioni di tipo fisiologico

danno da freddo: (si manifesta sui peperoni quando la temperatura scende al di sotto dei 5-8°C dipendendo dalle varietà, dallo stadio di maturazione e dal tempo di esposizione; i peperoni verdi sono generalmente più sensibili di quelli colorati);

l'*eziologia* consiste nella comparsa di punteggiature sulla buccia (maculatura) e nell'annerimento dei semi; conseguenza del danno da freddo è la comparsa di aree deliquescenti (edemi) sulla superficie e anche l'attacco di batteri sul pericarpo e di attacco fungino (*Alternaria*) sul peduncolo. *Evitare* l'esposizione al di sotto dei limiti termici indicati e se i frutti sono stati esposti a tali temperature riportarli gradualmente alla temperatura corretta; *evitare* la formazione di condensa;

avvizzimento (è frequente nel peperone quando l'umidità relativa è al di sotto del limite ottimale, 90- 95%); si manifesta sottoforma di raggrinzimento dell'epidermide del frutto ma ancor prima di quello del peduncolo in prossimità dell'area di taglio; generalmente è conseguente ad una perdita di consistenza del peperone facilmente rilevabile al tatto; *evitare* l'esposizione in ambienti caldi o direttamente sotto il sole; *refrigerare* il più rapidamente possibile; *avvolgere* con film plastici anche parzialmente di copertura.

Alterazioni di tipo patologico

La *Botrytis* è molto frequente durante la conservazione del peperone perchè cresce bene alle temperature raccomandate; è un patogeno da ferita per cui la cura nella manipolazione è importante per evitare la contaminazione; rapidi trattamenti in acqua calda a 55°C per 4 minuti sembrano controllare lo sviluppo. *Alternaria alternata* è frequente in postraccolta come conseguenza del danno da freddo; *Erwinia carotovora* è responsabile del marciume molle del peperone ed essendo un patogeno da ferita entra da qualsiasi tipo di lesione anche superficiale, aver cura quindi in qualsiasi tipo di manipolazione del frutto; altri microorganismi possono attaccare i frutti durante la fase di postraccolta ma anche in questo caso il processo infettivo molto spesso risale al campo dove devono esser presi gli opportuni provvedimenti; in postraccolta i trattamenti non sono permessi quindi bisogna aver cura nella manipolazione, evitare l'uso di temperature al di sotto del limite termico per tempi superiori alle 12-24 ore in funzione della varietà, evitare formazione di condensa; nel caso di bagnatura del peperone usare sempre acqua clorata (150-200 ppm di cloro attivo).

Preparazione per il mercato (condizionamento)

Le operazioni di condizionamento iniziano dal momento della raccolta fino al carico sul mezzo di trasporto e vengono riportate nel diagramma (Figura 45).

1. *Scarico a secco*: richiede una maggior attenzione di quello in acqua che d'altra parte per il peperone non deve esser condotto per evitare il riempimento d'acqua della cavità; evitare salti ai frutti superiori ai 20 cm; adottare qualsiasi accorgimento per far scivolare o rotolare i peperoni;
2. *Selezione per lo scarto*: è una prima selezione eseguita a mano per scartare i frutti disformi o sovra e sottodimensionati;
3. *Lavaggio e asciugatura*: condotto con getti d'acqua a pioggia con ugelli posti ad altezze non superiori rispetto alla superficie dei frutti di 20 cm, con acqua opportunamente disinfettata (cloro attivo 150-200 ppm) e a temperatura superiore di quella del peperone; avanzamento dei peperoni su nastri oscillanti per rimuovere l'acqua in eccesso (attenzione ai danni da impatto) o su cilindri ruotanti di spugna per assorbire l'acqua in eccesso; asciugatura con getti di aria forzata;

4. *Selezione colore*: generalmente manuale, oggi può esser condotta a macchina mediante selezionatrice ottica monocromatica in grado di separare i frutti verdi da quelli gialli o rossi;
5. *Calibrazione*: a macchina con macchine calibratrici a dimensione che calibrano sulla base del diametro (larghezza) normale all'asse della bacca; le classi di calibro sono quelle riportate nelle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); i peperoni a bacca lunga a e sottile non vengono calibrati ma è prevista una lunghezza non inferiore ai 5 cm;
6. *Selezione qualitativa*: per la classificazione delle categorie di qualità valgono le norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); la migliore selezione è ancora quella umana, particolare attenzione deve esser rivolta alle condizioni di operatività; gli operatori (uomini o donne) è meglio che siano sempre gli stessi anno dopo anno per assicurare una maggior esperienza e quindi velocità di lavorazione, fare frequenti turni di rotazione degli operatori (ogni 2 ore), adottare opportuni sgabelli che permettano una posizione tra il seduto e l'eretto e che non affaticino la schiena e le gambe degli operatori, assicurare una perfetta e uniforme illuminazione del nastro trasportatore (luce bianca e lampade a 100-120 cm d'altezza dal nastro);
7. *Confezionamento*: si rimanda alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); nel caso delle confezioni con disposizione ordinata, evitare di comprimere i frutti per farli allocare nella propria sede; una perfetta calibrazione è indispensabile; il materiale di imballaggio preferibile è sicuramente il cartone per l'effetto "cushioning" cioè di ammortizzamento di traumi da compressione; nel caso si impieghi altro materiale, soprattutto legno, è consigliabile l'uso di materiali di protezione tra imballaggio e frutto (carta, fogli di materiali espansi); per il confezionamento in vaschette e film plastico evitare oscillazioni di temperatura durante la distribuzione per ovviare a problemi di condensa; in questo caso molto più che nei precedenti la calibrazione e la selezione qualitativa devono esser molto accurate perché il prodotto è del tipo "self sale".

Prerefrigerazione

E' indispensabile per il peperone raccolto nei periodi particolarmente caldi in quanto il frutto oltre ad avere una intensa produzione di calore di respirazione assorbe anche una notevole quantità di "calore di campo".

Aria forzata

E' questo il sistema, dopo quello della cella frigorifera standard, più semplice anche se richiede o tunnel di refrigerazione od opportune disposizioni del carico e modificazioni della cella frigorifera; solo per prodotti confezionati e avvolti, o coperti, con film plastici; il tempo per portare la temperatura del peperone a 8°C è di alcune ore dipendendo dal sistema impiegato (parete fredda, a serpentina, tunnel), dalla velocità dell'aria, dalla temperatura della cella, dalla disposizione dei contenitori e dal confezionamento dei frutti. La portata d'aria per unità di prodotto è generalmente intorno a 1 L/sec-kg. E'importante l'ampiezza dei canali tra i contenitori che deve permettere una velocità d'aria fredda alla velocità di 5-7.5 m/sec.

Sottovuoto

Questa tecnica di prerrefrigerazione si adatta bene al peperone dato il suo alto rapporto superficie/massa. E' indispensabile confezionare il peperone in film plastico perforato per evitare sensibili cali peso. I tempi di trattamento sono molto rapidi, da 27°C a 10°C in 20 min. La durata dipende dalla potenza della pompa da vuoto e dall'efficienza del condensatore. Questa tecnica è comunque insostenibile ambientalmente a causa dell'elevato consumo energetico.

Conservazione

Il peperone raramente viene conservato a lungo. Brevi conservazioni (2 settimane) alle temperature al di sopra dei limiti termici sopra indicati possono essere anche condotte avendo cura di proteggere i frutti dalla perdita di acqua per evaporazione. Per i limiti termogravimetrici e l'eventuale impiego dell'atmosfera controllata si rimanda alla scheda.

L'impiego dell'atmosfera protettiva (film plastici) per le confezioni per la vendita al pubblico è piuttosto frequente: se il fine è di ridurre l'avvizzimento qualsiasi film plastico (PE) estensibile ad alta permeabilità è adatto; se invece il fine è quello anche di una maggior conservabilità, attenzione deve essere rivolta alla scelta del film plastico, scelta che è funzione dell'intensità di respirazione, dell'intensità di evaporazione, e di altri composti volatili rilasciati dal peperone. Sarebbe opportuno orientarsi su film biodegradabili dopo averne valutato accuratamente le caratteristiche di permeabilità.

Maturazione artificiale

La maturazione artificiale del peperone è raramente applicata. Comunque, nonostante sia un frutto aclimaterico (la produzione di etilene non aumenta con la maturazione), si comporta come un climaterico nei confronti del trattamento esogeno con etilene, in particolare diventa giallo o rosso. I peperoni, affinché il trattamento con etilene abbia effetto, devono essere raccolti quando il 60-70% del frutto è già colorato. Le specifiche del trattamento sono le seguenti:

Trattamento: 100 ppm di etilene;

18-20 °C;

95% umidità relativa;

CO₂ < 2%;

buona ventilazione (30-40 ricambi/ora);

durata: 2-3 gg dipende dal raggiungimento colorazione desiderata.

Trasporto

Il trasporto dei peperoni deve essere condotto alle stesse temperature da usare per la conservazione e la diminuzione rispetto al limite termico dipende dalle distanze di trasporto.

- Peperoni verdi: 6-8°C per 10-12 ore
- 8-10°C > 12 ore

- Peperoni rossi e gialli: 4-6°C per 10-12 ore
6-8°C > 12 ore
- Umidità relativa: 95%
- Ventilazione: 50-70 volumi/ora

Particolare attenzione rivolta allo stivaggio per assicurare il flusso d'aria (refrigerata e non) uniforme su tutto il carico e quindi per evitare ristagni di umidità che possono determinare la comparsa di alterazioni microorganiche.

Controllare la sanità del container.

Se il container è refrigerato portarlo a temperatura prima del carico e lasciarlo acceso durante il caricamento se l'area di carico è refrigerata e se il prodotto è prerrefrigerato; se l'area di carico non è refrigerata caricare rapidamente in 15- 20 min. e portare la temperatura all'interno del container circa 3°C più alta rispetto alla desiderata; se il caricamento è più lento la temperatura del container deve esser portata circa 3°C sotto la metà della differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella desiderata.

Non caricare a ridosso delle pareti nè in contatto con il soffitto; assicurare il carico.

Nel caso di carichi misti e di lunghe distanze di trasporto (estero) considerare le richieste termoigrometriche dei vari prodotti e eventuali emissioni particolari (etilene o altri composti volatili).

Merchandising

Il peperone quadrato deve esser disposto sempre in modo ordinato sul banco di esposizione al pubblico, con il peduncolo rivolto verso il consumatore; i frutti esposti devono esser della stessa colorazione. Collocare gli scomparti contenenti i peperoni di differente colore uno adiacente all'altro in modo che l'osservatore sia attratto dal contrasto di colore; non collocare ortaggi o frutti di colori simili a quelli dei peperoni subito a contatto con questi (verde con rosso o giallo, non verde con verde, rosso con rosso, ecc.).

Devono esser mantenuti i più lucidi possibili perchè la brillantezza è una caratteristica di attrazione per il peperone. Non bagnarli.

Assicurarsi che il peduncolo sia sempre turgido, altrimenti ritagiarlo.

Evitare che rimangano spazi sul ripiano, ma riempirlo sempre.

Eliminare quelli alterati perchè sono deleteri per gli altri sani sia per la contaminazione sia per l'occhio del consumatore.

Costa meno eliminare un peperone anche appena alterato che dover ritirare 10 peperoni invenduti.

Scheda

1. Conservazione

Colorazione	Temperatura	Umidità Relativa
Verde	8-10°C	95%
Rosso-giallo	6-8°C	95%

Impiego dell'Atmosfera controllata:

i peperoni non rispondono bene all'atmosfera controllata in quanto quando la CO₂ > 5% si può aver fitotossicità.

3%O₂ + 4-5% CO₂ a 5-10°C per 3-4 settimane (peperoni colorati).

2. Produzione di etilene

0.1-0.4 µL/kg-ora a 10°-20°C

l'entità della produzione dipende dalla varietà.

3. Sensibilità all'etilene

Bassa: qualche volta si può avere imbrunimento del peduncolo

4. Respirazione

temperatura	mg/kg-ora
5°C	6-8
10°C	11-18
20°C	20-30

non c'è differenza nei valori tra i verdi e i colorati

l'entità di respirazione dipende dalla varietà

per calcolare il calore di respirazione in Joule/kg-ora si deve moltiplicare il valore di respirazione per 10.7 oppure per 122 e si ottiene in kcal/ton-giorno.

5. Danno da freddo

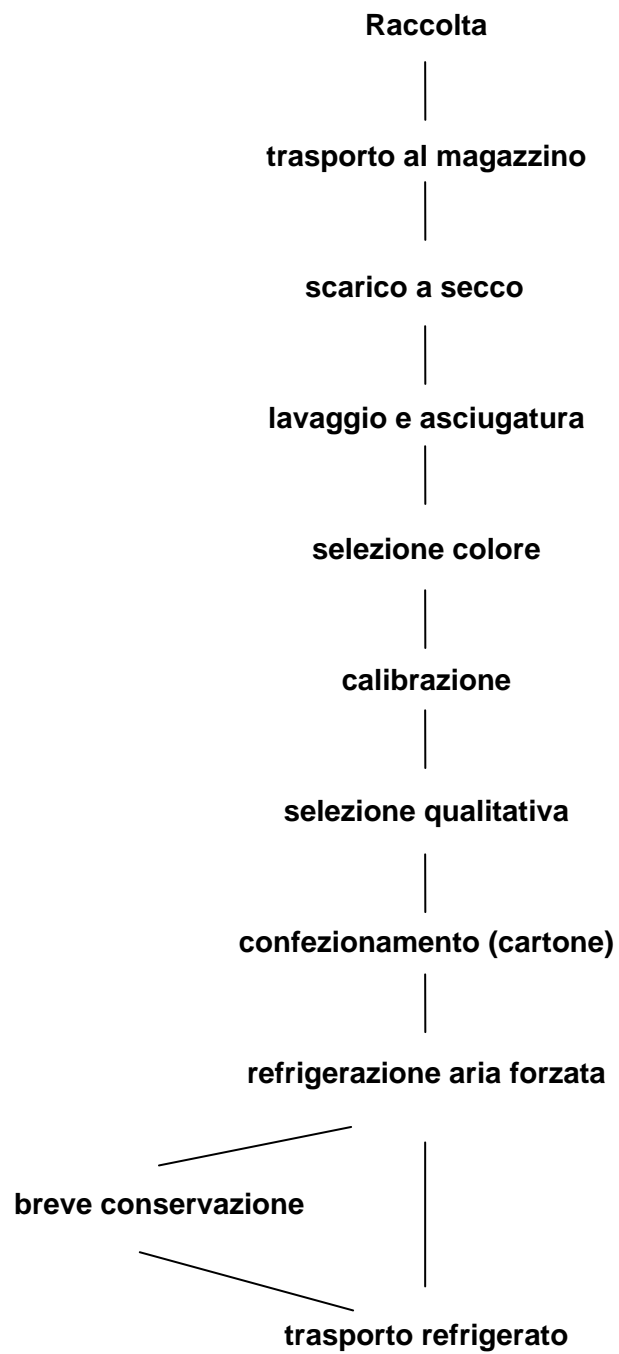
a temperature di 6-8°C per più di una settimana;

a 5°C per più di 3-4 giorni;

si deve ricordare che il danno da freddo frequentemente si manifesta quando i frutti sono rimossi dalle basse temperature a temperatura ambiente.

Punto di congelamento	-0.7°C
Contenuto in acqua	92.4%
Calore specifico	3.93 kJ/kg-°C

PREPARAZIONE PER IL MERCATO DEL PEPERONE



Le operazioni e la sequenza possono cambiare in funzione del tipo di azienda.

Figura 45 Diagramma peperone

Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua

Controllare frequentemente la concentrazione di sostanze sanizzanti se cloro attivo (75-100ppm); oggi tuttavia dati i problemi relativi alla formazione di composti cancerogeni come i trialometani a seguito del trattamento con cloro dell'acqua ricca in sostanza organica, sarebbe preferibile usare acqua ozonata che garantisce dopo filtrazione sgrossante, l'abbattimento del BOD (biological organic demand) vale a dire della carica microrganica, Consentendo quindi il riciclo dell'acqua e quindi il risparmio sia economico che di impatto ambientale;

pH 6.5-7.5;

Scaricare completamente l'acqua dalla vasca alla fine di ogni giorno di lavorazione e riempirla nuovamente con acqua pulita;

Usare tutte le sostanze in accordo con le indicazioni delle etichette;

Per l'idrorefrigeratore usare dei filtri sgrassanti per rimuovere le grosse particelle.

Pomodoro da mensa

Con il termine pomodoro da mensa si intende riferirsi ai pomodori delle varietà derivate dal *Lycopersicum esculentum* Mill, destinate ad essere consumate per il consumo fresco e si distinguono in tondi (inclusi i ciliegia), costoluti e oblungi (allungati).

Indici di maturità e metodi di determinazione

Gli indici di maturità per la raccolta del pomodoro da mensa sono basati sull'estensione del colore rosso sulla superficie del frutto. Generalmente si definiscono 5 stadi di maturazione; noi riteniamo opportuno introdurne uno ulteriore

stadio 1: pomodoro verde maturo

caratteristiche e individuazione

il liquido placentare all'interno del frutto inizia a colorarsi, i semi sono bianchi; esternamente il frutto è ancora verde per cui la valutazione è difficile; ci si può basare sull'ampiezza della cicatrice peduncolare, sulla lunghezza di linee verde chiaro che partono a raggiera dalla base del pomodoro (dipende dalla varietà); al colorimetro il valore di a è negativo e quello di b è positivo su tutto il frutto ma alla base il valore di a è prossimo allo 0; in questo stadio la produzione di etilene inizia a crescere.

utilità pratica

per la lunga conservazione (15-20gg) in refrigerazione (non inferiore ai 12°C) o in atmosfera controllata (1-3%O₂ + 3%CO₂) per 1-3 mesi;

tempo per raggiungere lo stadio 5 di maturazione a 20-25°C = 5-12 gg (dipende dalla varietà).

stadio 2: pomodoro invaiato

caratteristiche e individuazione

il tessuto placentare nei loculi interni è completamente rosso; comparsa dell'alone rosa alla base del pomodoro; di facile individuazione visiva o con ausilio di un colorimetro (valori a e b entrambi positivi alla base mentre sulle restanti aree del frutto a è negativo); la produzione di etilene aumenta progressivamente.

utilità pratica

è lo stadio di raccolta per una commercializzazione di alcuni giorni (3-7) dipendendo dall'esigenza del mercato; se conservato in frigorifero la temperatura non deve scendere al di sotto dei 10°C; la conservabilità del frutto a questo stadio è scarsa anche impiegando l'atmosfera controllata.

tempo per raggiungere lo stadio 5 di maturazione a 20-25°C=5-8 gg (dipende dalla varietà).

stadio 3: pomodoro virato

caratteristiche e individuazione

il tessuto placentare interno è completamente rosso e inizia a diventar succoso; i semi sono marroni; il 30% circa della superficie è coperto dalla colorazione rossa o rosata; di facile individuazione visiva; al colorimetro il parametro *a* è positivo nella parte rossa mentre nelle restanti parti rimane negativo anche se prossimo allo 0; il parametro *b* è sempre positivo; la produzione di etilene è vicino al massimo climaterico.

utilità pratica

è lo stadio per la rapida commercializzazione; conservabilità scarsa e comunque a temperatura non inferiori ai 7-8°C; il pomodoro sta raggiungendo le migliori qualità aromatiche per cui la bassa temperatura è deleteria.

tempo per raggiungere lo stadio 5 di maturazione a 20-25°C=3-6 gg

stadio 4: pomodoro rosato

caratteristiche e individuazione

il tessuto placentare interno è ormai liquido e di un rosso intenso; esternamente la colorazione copre dal 30 al 60% della superficie del frutto; al colorimetro il parametro *a* è positivo nella parte rossa mentre nelle restanti parti rimane negativo anche se prossimo allo 0; il parametro *b* è sempre positivo; la produzione di etilene è al massimo climaterico.

utilità pratica

da commercializzare immediatamente; molta attenzione nel condizionamento e nella distribuzione perché la consistenza inizia a ridursi; non tenere in frigorifero per non comprometterne l'aroma.

stadio 5: pomodoro rosso

caratteristiche e individuazione

internamente tutti i tessuti sono arrossati e esternamente il colore rosso copre quasi l'intera superficie; al colorimetro i parametri *a* e *b* sono sempre positivi e soprattutto *a* ha valori molto elevati; la produzione di etilene è elevata e inizierà a declinare.

utilità pratica

da commercializzare immediatamente; non tenere in frigorifero per non comprometterne l'aroma; molta attenzione nel condizionamento e nella distribuzione perché la consistenza è bassa.

stadio 6: pomodoro sovramaturo

caratteristiche e individuazione

il frutto internamente e esternamente è completamente rosso intenso con valori di *a* al colorimetro elevati; la produzione di etilene è in declino.

utilità pratica

da industria.

Questi stadi di maturazione devono esser considerati validi per i pomodori tradizionali; oggi esistono varietà che tendono a maturare uniformemente in tutto il frutto e anche allo stadio 5 mantengono un'elevata consistenza. Rimane comunque importante la considerazione che il mantenimento dei pomodori in cella frigorifera o nel frigorifero domestico è deleterio per l'aroma.

I metodi di determinazione della maturità de pomodoro da mensa sono:

- carte colorimetriche attraverso le quali è possibile distinguere gli stadi di maturazione sopraindicati;
- il colorimetro che riporta il colore come parametri *a* (*verde-rosso*), *b* (*blue-giallo*) e *L* (*nero-bianco*) che possono esser usati tal quali oppure trasformati in angolo di colore ($\cotg b/a$) e saturazione del colore $(a^2 + b^2)^{1/2}$;
- produzione di etilene mediante gas cromatografia.

Indici di qualità

Nel seguente disciplinare si acquisisce il testo ufficiale della norma (Reg. CEE n.778/83; n.408/90; n. 918/94). I parametri di qualità che devono esser considerati sono comunque:

- *forma*: tipica della varietà o dell'ibrido;
- *colore*: uniformemente distribuito per ogni stadio di maturazione;
- *apparenza*: senza alcun tipo di lesione;
- *consistenza*: valutata soggettivamente per compressione del frutto tra pollice e indice; il pomodoro agli stadi 1,2 e 3 deve opporre resistenza a tale compressione, il pomodoro agli stadi 4 e 5 deve cedere lievemente; si può usare anche il penetrometro come metodo distruttivo, leggendo il valore della consistenza dopo aver premuto, nell'area equatoriale, ortogonalmente al frutto; i valori diminuiscono proporzionalmente con la maturazione e una stretta relazione esiste con la consistenza tattile, per cui ogni operatore, per ogni varietà, dovrebbe ricavarsi una tabella di consistenza tattile che riferisce ai valori del penetrometro misurati dopo la rimozione dell'epidermide.

La qualità igienico-sanitaria è riferita alla presenza di residui di pesticidi provenienti dai trattamenti in campo in quanto i trattamenti postraccolta sono vietati in Italia (vedere tabella per i tempi di carenza e il residua massimo ammesso, RMA). Attenzione deve esser rivolta anche a qualsiasi fonte di inquinamento esterno (da metalli o microorganismi nelle acque di lavaggio, da escrementi di animali) per cui devono esser individuati i "punti critici" del processo di lavorazione per poi eliminarli secondo le regole del Manuale di Corretta Prassi Igienica.

Raccolta

La raccolta del pomodoro dovrebbe esser effettuata nelle prime ore del giorno per ridurre al minimo l'accumulo di "calore di campo" e anche perchè la respirazione è ridotta e quindi anche l'emissione del calore di respirazione.

Per il pomodoro da mensa la raccolta è manuale con o senza ausili. Particolare attenzione deve esser rivolta al distacco e nell'allocazione dei pomodori nei contenitori di raccolta. Tutte le operazioni devono esser condotte evitando ferite sia al peduncolo che al frutto, ferite da strappo del peduncolo, da impatto e da sfregamento del frutto. Un'alta percentuale di perdite di pomodori e di loro dequalificazione deriva dalla presenza di lesioni da impatto o da compressione che avvengono nella fase di raccolta. Nella raccolta allo stadio 1 e 2 tali lesioni non sono immediatamente visibili ma si manifestano successivamente con la maturazione in quanto l'area compressa stenta a maturare e quella impattata diventerà scura e deliquescente. Essendo un frutto climaterico qualsiasi tipo di lesione ne accelera sensibilmente la maturazione.

Regole per una raccolta ottimale

1. mantenere le mani pulite; evitare le unghie lunghe;
2. raccogliere solo i pomodori allo stadio desiderato di maturazione e fare una selezione di qualità già in campo;
3. distaccare i pomodori usando coltelli o forbici; talvolta il distacco può esser favorito dalla rotazione del pomodoro;
4. non stringere i pomodori nel momento del distacco e non gettarli nel contenitore ma adagiarli o usare sistemi di rallentamento della caduta;
5. non compattare i pomodori nel contenitore da raccolta;
6. evitare sempre di scaricare i pomodori da un contenitore su una superficie dura facendoli compiere un salto.

Alterazioni postraccolta e precauzioni

Alterazioni di tipo meccanico o fisico

da **impatto** (derivano da altezze di caduta superiori ai 15 cm durante la raccolta o nella linea di condizionamento): sul pomodoro verde non appaiono esternamente (dipende dall'altezza di caduta) ma a maturazione si presentano come aree deliquescenti, traslucide e scure, molli al tatto; sui pomodori oblungi tale lesione è più deleteria in quanto la punta del pomodoro è facilmente lesionabile; evitare qualsiasi tipo di salto al frutto nella raccolta e nella linea di condizionamento;

da **compressione** (derivano da pressione dei pomodori su superfici dure, tipo cassette di legno o plastica, quando l'altezza della massa di pomodori è maggiore di 4 strati e sono soggetti a sollecitazioni durante il trasporto): si presentano generalmente sulle spalle del pomodoro come punteggiature leggere, a seconda della superficie di compressione, che nei pomodori rossi rimangono verdi o virano al

marrone; evitare di compattare i pomodori all'interno dei contenitori e anche di lasciarli per lungo tempo in strati sovrapposti; evitare che il camion percorra strade accidentate; usare contenitori alveolari o di cartone;

da **abrasione** (derivano da sfregamenti dei frutti contro superfici dure, sia al momento della raccolta che nella linea di condizionamento): generalmente la ferita è profonda e può apparire il succo interno, sono evidenti immediatamente dopo l'evento; evitare di gettare i pomodori all'interno dei contenitori invece di adagiarli, usare contenitori di cartone anziché di legno, impilare con cura le cassette al di sopra della pedana.

Alterazioni di tipo fisiologico

danno da freddo: si manifesta sui pomodori nei primi stadi di maturazione (1 e 2) quando la temperatura scende al di sotto dei 12°C (è dipendente dal tempo di esposizione e dalla varietà); l'eziologia diventa evidente soprattutto quando i pomodori vanno a maturazione con comparsa di aromi anomali, maturazione a chiazze, aree deliquescenti (edemi) sulla superficie, attacchi fungini soprattutto *Alternaria* spp alla cicatrice peduncolare, imbrunimento semi e fasci vascolari; pomodori più maturi sono resistenti a temperature più basse ma la qualità aromatica è sensibilmente inficiata; evitare l'esposizione a queste temperature e se i frutti sono stati esposti riportare gradualmente a temperatura corretta; evitare la formazione di condensa.

maturazione a chiazze: si manifesta a seguito del danno da freddo ma anche durante la conservazione in atmosfera controllata (quando la miscela gassosa non è idonea oppure la conservazione è troppo lunga) e si presenta sottoforma di aree più o meno sferiche di color verde quando il pomodoro è completamente maturo; evitare i danni da freddo e di prolungare eccessivamente la conservazione.

avvizzimento: è raro che si presenti per il pomodoro in quanto la sua superficie è ricoperta di uno spesso strato ceroso e lo scambio gassoso è per il 60% a carico della cicatrice peduncolare; la fisiopatologia si manifesta nel caso di operazioni di condizionamento non accurate con forti sfregamenti e spazzolature che rimuovono lo strato ceroso; scegliere con cura il tipo di tavoli o nastri trasportatori, le spazzole, ecc.; evitare l'esposizione in ambienti caldi o direttamente sotto il sole; avvolgere con film plastici anche parzialmente di copertura.

Alterazioni di tipo patologico

Alternaria alternata: è la più frequente patologia del pomodoro in postraccolta ed è conseguente il danno da freddo; qualche volta è presente *Alternaria solani* e la *Botrytis cinerea* che è causa di forti perdite soprattutto sempre in conseguenza di non accurata manipolazione dei frutti; il processo infettivo molto spesso risale al campo dove devono esser presi gli opportuni provvedimenti; in postraccolta i trattamenti non sono permessi quindi bisogna aver cura nella manipolazione, evitare le basse temperature per tempi superiori alle 12-24 ore in funzione della varietà, evitare formazione di condensa, evitare umidità relative particolarmente elevate se non è assicurata una buona ventilazione.

Preparazione per il mercato (condizionamento)

Le operazioni di condizionamento iniziano dal momento della raccolta fino al carico sul mezzo di trasporto e vengono riportate nel diagramma (Figura 46).

1. *Scarico a secco o in acqua* : a secco richiede una maggior attenzione, evitare salti ai frutti superiori ai 15 cm; adottare qualsiasi accorgimento per far scivolare i pomodori; quello in acqua è migliore per evitare i danni meccanici ma richiede la sanitizzazione dell'acqua con sostanze autorizzate e nel caso di riciclaggio dell'acqua l'adozione di filtri; la temperatura dell'acqua deve esser superiore o uguale a quella del pomodoro;
2. *Selezione per lo scarto*: è una prima selezione eseguita a mano per scartare i frutti disformi o sovra e sottodimensionati;
3. *Lavaggio e asciugatura*: condotto con getti d'acqua a pioggia con ugelli posti ad altezze non superiori rispetto alla superficie dei frutti di 20 cm, con acqua opportunamente disinfettata e a temperatura superiore di quella del pomodoro; avanzamento dei pomodori su nastri oscillanti per rimuovere l'acqua in eccesso (attenzione ai danni da impatto) o su cilindri ruotanti di spugna per assorbire l'acqua in eccesso; asciugatura con getti di aria forzata;
4. *Selezione colore*: oggi condotta a macchina mediante selezionatrice ottica monocromatica o dicromatica in grado di separare i frutti verdi da quelli rossi o anche tre stadi di maturazione; a mano possono esser fatte più classi di colore ma è molto più lenta;
5. *Calibrazione*: a macchina con macchine calibratrici a peso, volumetriche o per diametro trasversale; le prime vanno meglio per i pomodori che hanno dimensioni longitudinali e trasversali molto differenti, mentre le seconde per quelli tondeggianti; le classi di calibro sono quelle riportate nelle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94);
6. *Selezione qualitativa*: per la classificazione delle categorie di qualità valgono le norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); la migliore selezione è ancora quella umana, particolare attenzione deve esser rivolta alle condizioni di operatività; gli operatori (uomini o donne) è meglio che siano sempre gli stessi anno dopo anno per assicurare una maggior esperienza e quindi velocità di lavorazione, fare frequenti turni di rotazione degli operatori (ogni 2 ore), adottare opportuni sgabelli che permettano una posizione tra il seduto e l'eretto e che non affaticino la schiena e le gambe degli operatori, assicurare una perfetta e uniforme illuminazione del nastro trasportatore (luce bianca e lampade a 100-120 cm d'altezza dal nastro), adoperare i guanti;
7. *Confezionamento*: si rimanda alle comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); particolare attenzione deve esser rivolta nel caso del confezionamento in alveolari nella scelta delle dimensioni idonee per i calibri di pomodoro selezionati al fine di evitare movimenti dei frutti all'interno degli alveoli durante il trasporto; nel caso delle confezioni senza alveolari ma con disposizione ordinata, evitare di comprimere i frutti per farli allocare nella propria sede; per entrambe le situazioni una perfetta calibrazione è indispensabile; il materiale d'imballaggio consigliabile è il cartone per l'effetto

“cushioning” cioè di ammortizzamento di eventuali traumi da compressione; nel caso di impiego di legno o plastica evitare il contatto diretto tra frutto e imballaggio; per il confezionamento in vaschette e film plastico evitare oscillazioni di temperatura durante la distribuzione per ovviare a problemi di condensa; in questo caso molto più che nei precedenti la calibrazione e la selezione qualitativa devono essere molto accurate perché il prodotto è del tipo “self sale”.

Prerefrigerazione

E' indispensabile per il pomodoro da mensa raccolto nei periodi particolarmente caldi in quanto il frutto oltre ad avere una intensa produzione di calore di respirazione assorbe anche una notevole quantità di “calore di campo”.

Idrorefrigerazione

Per questo tipo di prerefrigerazione è importante la sanificazione dell'acqua; la concentrazione di cloro deve essere 100-150 ppm; per la comune candeggina commerciale al 5% a base di ipoclorito di sodio usare 2.7 L/1000L di acqua; a pH alcalino il cloro diventa meno efficace. Sarebbe opportuno per il minor impatto ambientale impiegare l'ozono per il trattamento delle acqua. La dimensione del prerefrigeratore è ottenibile moltiplicando la capacità del nastro trasportatore per l'area occupata dall'unità di prodotto.

per **immersione** in acqua fredda del prodotto sfuso all'inizio della linea di condizionamento quando il prodotto arriva dal campo o del prodotto confezionato al termine del condizionamento; è molto rapido per il contatto diretto dell'acqua con il frutto; con acqua a 2°C la temperatura del frutto passa dai 32°C ai 16°C in 13 minuti; l'acqua dovrebbe essere mantenuta sempre intorno agli 0°C limitando il tempo di esposizione e avendo cura che la temperatura al centro dei pomodori non scenda al di sotto della soglia di tolleranza (12°C per gli stadi 1, 2, 3); gli svantaggi sono relativi al prodotto sfuso infatti si idrorefrigerano tutti i pomodori anche quelli che saranno dequalificati o scartati, la temperatura dei pomodori si rialzerà durante la fase di condizionamento (15' nella linea di lavorazione determina un riscaldamento del 20% tra temperatura prodotto/temperatura ambiente); una tecnica è quella di refrigerare parzialmente tutto il prodotto, fare quindi la lavorazione e terminare poi la refrigerazione sul prodotto pronto per il trasporto.

per **aspersione** (280-490 L/min-m² per una rapida refrigerazione nel caso di prodotto sfuso su nastro e 800-1000 L/min-m² nel caso di prodotti confezionati) meno rapido e uniforme del precedente; attenzione nella distanza (20 cm) degli ugelli o della vasca perforata dai frutti per evitare danni da pioggia (punteggiature e maculature); necessità di contenitori di materiale impermeabile (plastica o cartone cerato); il vantaggio rispetto al precedente è nella semplicità per il confezionato.

Aria forzata

E' questo il sistema, dopo quello della cella frigorifera standard, più semplice anche se richiede o tunnel di refrigerazione od opportune disposizioni del carico e modificazioni della cella frigorifera; solo per prodotti confezionati o meglio avvolti in film plastici soprattutto quelli che hanno il rametto; i tempi per portare la temperatura del pomodoro agli stadi di maturazione 1, 2 e 3 a 12°C è di alcune ore dipendendo dal sistema impiegato (parete fredda, a serpentina, tunnel), dalla velocità dell'aria,

dalla temperatura della cella, dalla disposizione dei contenitori e dal confezionamento dei frutti. La quantità d'aria richiesta per unità di prodotto è generalmente intorno a 1 L/kg-sec. E' importante l'ampiezza dei canali tra i contenitori che deve permettere un flusso d'aria fredda alla velocità di 8 m/sec.

Conservazione

Il pomodoro da mensa raramente viene conservato a lungo anche perché oggi esistono ibridi in grado di resistere per giorni a completa maturazione. Brevi conservazioni alle temperature prima indicate per i diversi stadi di maturazione possono essere anche condotte ricordando però che, anche nel rispetto dei limiti termici, la qualità sensoriale dei frutti è compromessa. Per i limiti termogravimetrici e l'eventuale impiego dell'atmosfera si rimanda alla scheda.

L'impiego dell'atmosfera protettiva (film plastici) per le confezioni per la vendita al pubblico è piuttosto frequente: se il fine è di ridurre l'avvizzimento qualsiasi film plastico estensibile ad alta permeabilità è adatto; se invece il fine è quello anche di una maggior conservabilità, attenzione deve essere rivolta alla scelta del film plastico.

Per la lunga conservazione (più di un mese) che si può condurre solo in atmosfera controllata o con gli opportuni ibridi la raccolta deve essere effettuata allo stadio 1.

Maturazione artificiale

La maturazione artificiale è economicamente valida soltanto per il pomodoro allo stadio 1 di maturazione.

Trattamento: 100 ppm di etilene

18-20°C

90% umidità relativa

CO₂ < 2%

durata: 2-3 gg dipende dalle varietà e la decisione di terminare il trattamento dipende dal raggiungimento dello stadio 2 se dopo questo tempo i frutti non rispondono vuol dire erano immaturi;

I frutti rispondono meglio al trattamento subito dopo la raccolta. L'eventuale non raggiungimento dell'aroma tipico del pomodoro dipende dal mantenimento a temperature più basse di quelle consigliate, ritardo nel trattamento, presenza di danni meccanici.

Trasporto

Il trasporto dei pomodori se effettuato non in carico misto deve essere condotto a temperature non basse e comunque dipende dalle distanze di trasporto.

pomodori stadio 1, 2 e 3: 5-10 ore=10°C

> 10 ore > 12°C

pomodori stadio 4, 5 e 6: 5-10 ore =5°C

pomodori stadio 4, 5 e 6: > 10 ore=10°C

Umidità relativa: 85%

Ventilazione: 50-70 volumi/ora

Particolare attenzione rivolta allo stivaggio per assicurare il flusso d'aria (refrigerata e non) uniforme su tutto il carico e quindi per evitare ristagni di etilene che accelerano la maturazione

Controllare la sanità del container.

Se il container è refrigerato portarlo a temperatura prima del carico e lasciarlo acceso durante il caricamento se l'area di carico è refrigerata e se il prodotto è prerrefrigerato; se l'area di carico non è refrigerata caricare rapidamente in 15- 20 min. e portare la temperatura all'interno del container circa 3°C più alta rispetto alla desiderata; se il caricamento è più lento la temperatura del container deve esser portata circa 3°C sotto la metà della differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella desiderata.

Non caricare a ridosso delle pareti nè in contatto con il soffitto; assicurare il carico.

Nel caso di carichi misti e di lunghe distanze di trasporto (estero) considerare le richieste termoigrometriche dei vari prodotti e eventuali emissioni particolari (etilene o altri composti volatili).

Merchandising

Il pomodoro da mensa per la sua forma dovrebbe esser disposto sempre in modo ordinato (a piramide, a strati, ecc.) sul banco di esposizione al pubblico assicurandosi che i frutti esposti siano dello stesso stadio di maturazione. Se i frutti sono di differente stadio di maturazione, collocarli in base allo stesso stadio, su ripiani adiacenti avendo cura di metterli vicini ad altri prodotti con colori contrastanti: i pomodori invaiati o viranti possono andar vicini a quelli rossi oppure ad altri ortaggi o frutti con colori pastello (arance, limoni, mele rosse), mentre i pomodori rossi si accosteranno bene con frutti o ortaggi verdi quali cetrioli, zucchini, mele Granny Smith, ecc.

Devono esser mantenuti i più lucidi possibili perchè la brillantezza è una caratteristica di attrazione per il pomodoro. Non bagnarli.

Evitare che rimangono spazi sul ripiano, ma riempirlo sempre.

Eliminare quelli alterati perchè sono deleteri per gli altri sani sia per la contaminazione sia per l'occhio del consumatore.

Costa meno eliminare un pomodoro anche appena alterato che dover ritirare 10 pomodori invenduti.

Scheda

1. Conservazione

Maturazione	Temperatura	Umidità Relativa
stadio 1, 2	12-15°C	85-90%
stadio 3, 4	10-12°C	85-90%
stadio 5	5-7°C	90%

la durata varia in funzione della varietà o ibrido e dello stadio di maturazione; per lo stadio 1 = 15-18 gg; stadio 2=10-12 gg; stadio 5=4-5 gg

Impiego dell'Atmosfera controllata

3% O₂ +0, 3% CO₂ durata 4-12 settimane, temperatura e umidità relativa agli stessi valori sopra indicati

2. Produzione di etilene

2-3 µL/kg-ora a 10°C

5-10 µL/kg-ora a 20°C

l'entità della produzione dipende dalla varietà e dallo stadio di maturazione; la produzione inizia a crescere allo stadio 1 e raggiunge il massimo allo stadio 4-5.

3. Sensibilità all'etilene

il pomodoro è molto sensibile a fonti esogene di etilene

allo stadio 1 di maturazione; evitare carichi misti con forti produttori di etilene (pomacee, frutti tropicali, kaki, ecc.)

4. Respirazione (mg/kg-ora)

temperatura	maturazione	
	stadio 1	stadio 5
10°C	10-15	20-30
15°C	12-18	30-50
25°C	15-20	30-65

l'entità di respirazione dipende dalla varietà

per calcolare il calore di respirazione in J/kg-ora si deve moltiplicare il valore di respirazione per 0,7 oppure per 122 e si ottiene in kcal/ton-giorno.

5. Danno da freddo (allo stadio 1 e 2 di maturazione)

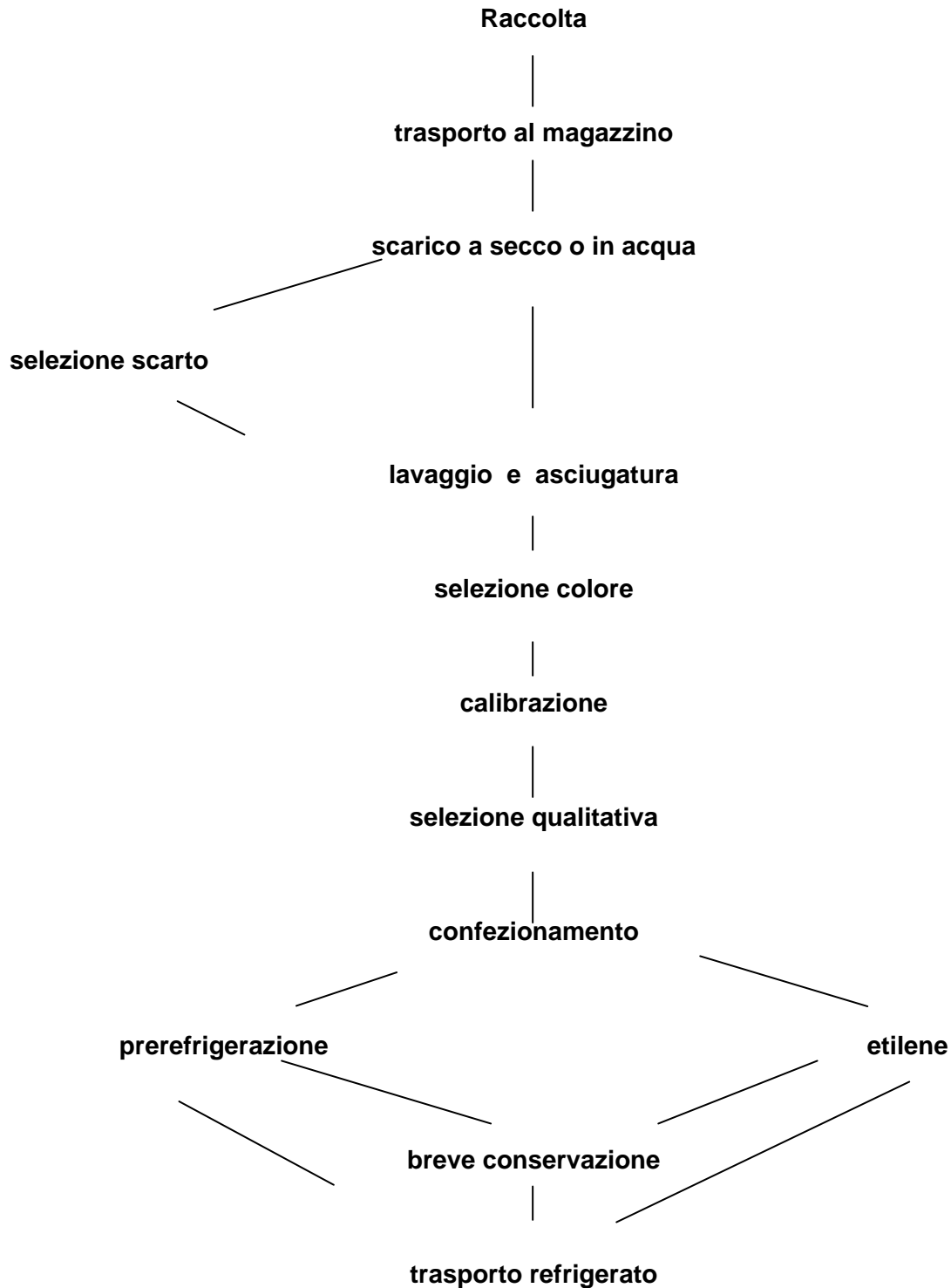
a temperature <10°C per più di una settimana;

a 5°C per più di 3-4 giorni;

si deve ricordare che frequentemente il danno da freddo si manifesta quando i frutti vengono rimossi dalle basse temperature a temperatura ambiente.

Punto di congelamento	-0.5°C (stadio 5)
	-0.6°C (stadio 6)
Contenuto in acqua	94.1 %(stadio 5)
	93.0 %(stadio 2)
Calore specifico	3.99 kJ/kg-°C (stadio 5)
	3.95 kJ/kg-°C (stadio 2)

PREPARAZIONE PER IL MERCATO DEL POMODORO DA MENSA



La prerrefrigerazione può essere idrorefrigerazione o in aria forzata; la maturazione con etilene solo su pomodori allo stadio 1. Le operazioni e la loro sequenza possono variare in funzione del tipo di pomodoro e dell'azienda.

Figura 46 Diagramma pomodoro

Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua

Controllare frequentemente la concentrazione di sostanze sanizzanti se cloro attivo (75-100ppm). Oggi tuttavia dati i problemi relativi alla formazione di composti cancerogeni come i trialometani a seguito del trattamento con cloro dell'acqua ricca in sostanza organica, sarebbe preferibile usare acqua ozonata che garantisce dopo filtrazione sgrossante, l'abbattimento del BOD (biological organic demand) vale a dire della carica microrganica, consentendo quindi il riciclo dell'acqua e quindi il risparmio sia economico che di impatto ambientale;

pH 6.5-7.5;

Saricare completamente l'acqua dalla vasca alla fine di ogni giorno di lavorazione e riempirla nuovamente con acqua pulita;

Usare tutte le sostanze in accordo con le indicazioni delle etichette;

Per l'idrorefrigeratore usare dei filtri sgrassanti per rimuovere le grosse particelle.

Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione

L'acqua refrigerata deve esser il più possibile in contatto con la superficie del prodotto;

L'acqua deve circolare sul prodotto, non esser statica;

L'acqua deve esser sanizzata;

L'acqua deve esser fredda;

Se sul confezionato usare contenitori di materiale impermeabile non chiudere i cartoni durante il trattamento.

Raccomandazioni per l'aria forzata

Usare contenitori con aperture sui lati o sul fondo almeno del 5% dell'intera superficie;

Stivare in maniera opportuna le pedane con i contenitori con i frutti così da permettere l'adeguato flusso d'aria fredda; il sistema deve ridurre al minimo le possibilità di uscita dell'aria fredda da punti non desiderati;

Usare ventilatori con adeguata potenza per creare la richiesta depressione nel caso dei tipi a parete fredda o a serpentina;

Assicurare la bassa temperatura dell'aria di cella e che l'aria fredda circoli attorno ai prodotti.

Zucchini (*Cucurbita pepo*)

Indici di maturità e metodi di determinazione

Nello zucchini la maturità commerciale non corrisponde a quella fisiologica per cui la maturità non può essere stabilita sulla base del cambiamento di colore. Gli indici di maturità adottati per lo zucchini si basano sulla dimensione che il frutto raggiunge sulla pianta ma la raccolta dipenderà anche dalla richiesta del mercato.

Indici di qualità

In questo disciplinare si acquisisce il testo ufficiale della norma (Reg. CEE n. 1292/81; n.1076/89). I parametri di qualità che devono essere considerati sono:

- *forma*: tipica della varietà o dell'ibrido;
- *colore*: tipico della varietà o ibrido;
- *apparenza*: senza alcun tipo di lesione;
- *consistenza*: valutata soggettivamente per compressione del frutto tra pollice e indice; a una lieve compressione lo zucchini non deve mostrare cedevolezza;
- *flessibilità*: è questo un parametro molto importante che deve essere considerato in quanto, data l'elevata traspirazione (perdita di acqua) a cui è soggetto lo zucchini, la flessione del frutto quando afferrato per l'estremità dà un'indicazione dello stato di freschezza; l'azienda dovrebbe predisporre un sistema di valutazione soggettivo basato sulla resistenza alla flessione assegnando un punteggio del tipo:
 - punteggio 3 = lo zucchini non flette quando viene afferrato all'estremità e sottoposto a lieve flessione;
 - punteggio 2 = lo zucchini flette leggermente; limite della commercializzazione;
 - punteggio 1 = lo zucchini flette eccessivamente; non commercializzabile.

Nel caso della vendita con il fiore, altro parametro qualitativo è la freschezza del fiore il quale si deve presentare turgido e brillante, non afflosciato.

La qualità igienico-sanitaria è riferita alla presenza di residui di pesticidi provenienti dai trattamenti in campo in quanto i trattamenti postraccolta sono vietati in Italia. Attenzione deve essere rivolta anche a qualsiasi fonte di inquinamento esterno (da metalli o microrganismi nelle acque di lavaggio, da escrementi di animali) per cui devono essere individuati i "punti critici" del processo di lavorazione per poi eliminarli secondo il manuale di HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points).

Raccolta

La raccolta dello zucchini deve essere effettuata nelle prime ore del giorno per ridurre al minimo l'accumulo di "calore di campo" e quindi ridurre la traspirazione; inoltre la respirazione è ridotta e quindi anche l'emissione del calore di respirazione.

La raccolta dello zucchini viene eseguita manualmente sia per distacco del peduncolo sia per taglio del peduncolo con appositi coltelli a 2-3 cm dall'inserzione nel frutto. Particolare attenzione deve essere rivolta al distacco e nell'allocazione degli zucchini nei contenitori di raccolta. Tutte le operazioni devono essere condotte evitando ferite sia al peduncolo che al frutto, ferite da strappo del peduncolo, da impatto e da sfregamento del frutto. La presenza del fiore rende ancora più delicata tale fase.

Regole per una raccolta ottimale

1. mantenere le mani pulite; evitare le unghie lunghe;
2. raccogliere solo gli zucchini allo stadio desiderato di maturazione e fare una selezione di qualità già in campo;
3. distaccare gli zucchini usando coltelli o forbici;
4. non gettare gli zucchini nel contenitore ma adagiarli;
5. non compattare gli zucchini nel contenitore da raccolta;
6. evitare sempre di scaricare gli zucchini da un contenitore su una superficie dura facendoli compiere un salto.

Alterazioni postraccolta e precauzioni

Alterazioni di tipo meccanico o fisico

da **impatto** (derivano da altezze di caduta superiori ai 20 cm durante la raccolta o nella linea di condizionamento): si manifestano sulla superficie dello zucchini sotto forma di ferite da taglio; *evitare* di gettare gli zucchini nei contenitori di raccolta e di farli compiere salti durante la fase di condizionamento;

da **compressione** (derivano da pressione degli zucchini su superfici dure, tipo cassette di legno o plastica, quando viene eseguito il riempimento): la zona di compressione si presenta appiattita; internamente la polpa può presentare un'area edematosa per collassamento del tessuto ma non si ha lesione attorno alla cavità seminale; *evitare* di compattare gli zucchini all'interno dei contenitori; *evitare* che il camion percorra strade accidentate; *usare* contenitori di cartone;

da **abrasione** (derivano da sfregamenti dei frutti contro superfici dure, sia al momento della raccolta che nella linea di condizionamento): generalmente l'epidermide del frutto viene rimossa e può apparire il succo interno; il danno è evidente subito dopo l'evento; *evitare* di gettare gli zucchini all'interno dei contenitori ma adagiarli; *usare* contenitori di cartone anziché di legno, *impilare* con cura le cassette al di sopra della pedana.

Nel caso della presenza del fiore, le lesioni meccaniche portano a rottura o asportazione del fiore; in entrambi i casi oltre alla dequalificazione subentra il rischio

di contaminazioni microorganiche; tutte le operazioni di prevenzione elencate nel caso dello zucchini sono enfatizzate in presenza del fiore.

Alterazioni di tipo fisiologico

danno da freddo: (si manifesta sugli zucchini quando la temperatura scende al di sotto 5°C per periodi superiori a 5 giorni; la sensibilità dipende dalla varietà, dallo stadio di maturazione; zucchini più maturi sono meno sensibili, dalla dimensione); l'*eziologia* consiste nella comparsa di punteggiature sulla buccia, più o meno ampie e distribuite la cui comparsa è in relazione alle condizioni di umidità ambientali (più alta è l'umidità relativa minor è la comparsa) e all'intensità della manipolazione (più sono lavorati più presentano lesioni; ulteriore conseguenza del danno da freddo è la comparsa di aree deliquescenti (edemi) nella polpa, comparsa di aromi sgradevoli e maggior suscettibilità all'attacco di microorganismi. *Evitare* l'esposizione al di sotto dei limiti termici indicati e se i frutti sono stati esposti a tali temperature riportarli gradualmente alla temperatura corretta.

Alterazioni di tipo patologico

Numerose sono le specie fungine che attaccano lo zucchini tutte comunque conseguenti scarsa protezione in campo e cattiva manipolazione dei frutti in postraccolta. Le più frequenti sono: *Alternaria* spp., *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* spp., *Rhizopus* spp.

Altri microorganismi possono attaccare i frutti durante la fase di postraccolta ma anche in questo caso il processo infettivo molto spesso risale al campo dove devono esser presi gli opportuni provvedimenti; in postraccolta i trattamenti non sono permessi quindi bisogna *aver cura* nella manipolazione, *evitare* l'uso di temperature al di sotto del limite termico, *evitare* formazione di condensa; nel caso di bagnatura dello zucchini *usare* sempre acqua clorata (150-200 ppm di cloro attivo).

Si ricorda che è vietato l'uso di trattamenti chimici in postraccolta.

Preparazione per il mercato (condizionamento)

Le operazioni di condizionamento iniziano al momento della raccolta e terminano con il carico sul mezzo di trasporto e vengono riportate nel diagramma (Figura 47). Se le operazioni vengono svolte in campo il raccoglitore porrà il prodotto sulla macchina semovente dove un altro operatore farà la selezione qualitativa, la calibrazione e l'allocazione degli zucchini nel contenitore; quindi sarà fatta la pallettizzazione e il trasporto al centro di lavorazione per la prerrefrigerazione. Nel caso che lo zucchini sia raccolto e portato subito al magazzino dovranno esser condotte le seguenti operazioni:

1. *Scarico a secco o in acqua:* a secco richiede una maggior attenzione soprattutto per gli zucchini con il fiore, evitare quindi di far compiere balzi ai frutti ma adottare qualsiasi accorgimento per far scivolare gli zucchini sul piano; quello in acqua (non adottabile per gli zucchini con il fiore) è utile per evitare i danni meccanici ma richiede la sanitizzazione dell'acqua con sostanze autorizzate e nel caso di riciclaggio dell'acqua l'adozione di filtri;
2. *Selezione per lo scarto:* è una prima selezione eseguita a mano per scartare i frutti deformi, sovra o sotto dimensionati, lesionati;

3. *Lavaggio e asciugatura*: condotto con getti d'acqua a pioggia con ugelli posti ad altezze non superiori rispetto alla superficie dei frutti di 20 cm (pressione dell'acqua non forte per evitare macchiatura della superficie dello zucchini), con acqua opportunamente disinfettata (cloro attivo 150-200 ppm); avanzamento degli zucchini su nastri oscillanti per rimuovere l'acqua in eccesso (attenzione ai danni da impatto) o su cilindri ruotanti di spugna per assorbire l'acqua in eccesso; asciugatura con getti di aria forzata. Nel caso degli zucchini con il fiore, la pressione dell'acqua deve essere ulteriormente ridotta;
4. *Calibrazione*: basata sulla lunghezza o sul peso e generalmente condotta a mano soprattutto per quelli che hanno forme non perfettamente rettilinee e per gli zucchini con fiore; a macchina con macchine calibratrici a roller divergenti se oltre alla lunghezza si calibra sulla base del diametro trasversale o a peso; le classi di calibro sono quelle riportate nelle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94);
5. *Selezione qualitativa*: per la classificazione delle categorie di qualità valgono le norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); particolare attenzione deve essere rivolta a tale operazione e quindi l'operatore dovrà operare con condizioni di luminosità idonee, con un'intensità di flusso di frutti tale da permettergli un'accurata selezione, con un'ampiezza del tavolo di selezione che facilmente gli permetta il raggiungimento e l'eliminazione dei frutti non idonei; meglio se vengono adottati sistemi di individuazione dei frutti di tipo ottico e scarto automatizzato;
6. *Confezionamento*: si rimanda alle norme comuni di qualità (Reg. CEE n.778/83, n.408/90, n. 919/94); nel caso delle confezioni con disposizione ordinata, evitare di comprimere gli zucchini per farli allocare nella propria sede; una perfetta calibrazione è indispensabile; il materiale di imballaggio preferibile è sicuramente il cartone per l'effetto "cushioning" cioè di ammortizzamento di traumi da compressione; nel caso si impieghi altro materiale, soprattutto legno, è consigliabile l'uso di materiali di protezione tra imballaggio e frutto (carta, fogli di materiali espansi). Ogni confezione dovrà riportare, in modo visibile e chiaro, la categoria commerciale di appartenenza, il peso del prodotto, la varietà e un codice di rintracciabilità. Meglio se viene anche indicato l'eventuale trattamento di prerrefrigerazione.

Prerrefrigerazione

E' indispensabile per lo zucchini raccolto nei periodi particolarmente caldi in quanto il frutto oltre ad avere una intensa produzione di calore di respirazione assorbe anche una notevole quantità di "calore di campo". Prerrefrigerare quando la temperatura supera i 20°C e portare alle temperature ottimali indicate ma anche a temperature al di sotto del limite termico se i tempi di distribuzione sono brevi.

Idrorefrigerazione

Per questo tipo di prerrefrigerazione è importante la sanitizzazione dell'acqua; nel caso si impieghi l'ipoclorito di sodio, la concentrazione di cloro deve essere 100-150 ppm; per la comune candeggina commerciale al 5% di ipoclorito di sodio usare 2.7 L/1000L di acqua; a pH alcalino il cloro diventa meno efficace.

per **immersione** in acqua fredda del prodotto sfuso (senza fiore) all'inizio della linea di condizionamento quando il prodotto arriva dal campo o del prodotto confezionato al termine del condizionamento; è molto rapido per il contatto diretto dell'acqua con il frutto; l'acqua dovrebbe esser mantenuta sempre intorno agli 0°C limitando il tempo di esposizione e avendo cura che la temperatura al centro degli zucchini non scenda al di sotto della soglia di tolleranza;

per **aspersione** (280-490 L/min-m² per una rapida refrigerazione; nel caso di prodotto sfuso su nastro e 800-1000 L/min-m² nel caso di prodotti confezionati) meno rapido e uniforme del precedente; attenzione nella distanza (20 cm) degli ugelli o della vasca perforata dai frutti per evitare danni da pioggia (punteggiature e maculature); necessità di contenitori di materiale impermeabile (plastica o cartone cerato); il vantaggio è nella semplicità per il confezionato rispetto al precedente.

Aria forzata

E' questo il sistema, dopo quello della cella frigorifera standard, più semplice anche se richiede o tunnel di refrigerazione od opportune disposizioni del carico e modificazioni della cella frigorifera; solo per prodotti confezionati e avvolti, o coperti, con film plastici; i tempi per portare la temperatura dello zucchini da 30°C a 5-7°C sono di circa 4-5 ore; la durata dipende dal sistema impiegato (parete fredda, a serpentina, tunnel), dalla velocità dell'aria, dalla temperatura della cella, dalla disposizione dei contenitori e dal confezionamento dei frutti (contenitori senza aperture laterali aumentano i tempi di refrigerazione di circa 5 volte). La portata d'aria per unità di prodotto deve essere intorno a 1 L/sec-kg. E' importante l'ampiezza dei canali tra i contenitori che deve permettere una velocità d'aria fredda alla velocità di 5-7.5 m/sec.

Conservazione

Lo zucchini ha una ridotta conservabilità dovuta alla sensibilità alla bassa temperatura e all'elevata traspirazione. La conservazione deve esser effettuata al disopra dei limiti termici per i quali si rimanda alla scheda. Nel caso di breve conservazione o di trasporto refrigerato si può scendere al di sotto dei limiti termici ma la comparsa del danno da freddo è condizionata dalle ore di mantenimento al di sotto del limite termico e dalla maturità dello zucchini (più maturo è meno sensibile al danno da freddo). L'umidità deve esser mantenuta attorno al 90-95% per evitare l'avvizzimento quando la conservazione si protrae oltre i 5 gg. Attenzione deve esser rivolta alla formazione di condensa e quindi ci si deve assicurare del buon funzionamento dell'impianto frigorifero. Durata massima di conservazione in refrigerazione normale è di circa 2 settimane. L'atmosfera controllata non viene usata commercialmente anche se alte concentrazioni di anidride carbonica (5%) riducono la comparsa dei danni da freddo.

Trasporto

Il trasporto degli zucchini deve esser condotto alle stesse temperature da usare per la conservazione e la diminuzione rispetto al limite termico dipende dalle distanze di trasporto.

Durata trasporto 2 gg: 5-6°C (zucchini piccoli)

Durata trasporto 2 gg	4-5°C (zucchini grandi)
Durata trasporto 7 gg:	8-9°C (zucchini piccoli)
	6-7°C (zucchini grandi)
Umidità relativa:	90-95%
Ventilazione:	50-70 volumi/ora

Particolare attenzione rivolta allo stivaggio per assicurare il flusso d'aria (refrigerata e non) uniforme su tutto il carico e quindi per evitare ristagni di umidità che possono determinare la comparsa di alterazioni microorganiche.

Controllare la sanità del container.

Se il container è refrigerato portarlo a temperatura prima del carico e lasciarlo acceso durante il caricamento se l'area di carico è refrigerata e se il prodotto è prerrefrigerato; se l'area di carico non è refrigerata caricare rapidamente in 15- 20 min. e portare la temperatura all'interno del container circa 3°C più alta rispetto alla desiderata; se il caricamento è più lento la temperatura del container deve esser portata circa 3°C sotto la metà della differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella desiderata.

Non caricare a ridosso delle pareti nè in contatto con il soffitto.

Assicurare il carico.

Nel caso di carichi misti e di lunghe distanze di trasporto (estero) considerare le richieste termoigrometriche dei vari prodotti e eventuali emissioni particolari (etilene o altri composti volatili).

Merchandising

Il primo requisito per la vendita dello zucchini è la brillantezza dell'epicarpo (buccia) e nel caso del fiore la turgidità e brillantezza del fiore. Deve esser disposto sempre in modo ordinato sul banco di esposizione al pubblico; i frutti esposti devono esser della stessa colorazione. Nel caso di vendita di zucchini per il fiore, questo deve esser aperto e rivolto verso l'acquirente.

Assicurarsi della perfetta pulizia della buccia.

Assicurarsi che il fiore sia integro e turgido e nel caso della sua assenza assicurarsi che nella cicatrice lasciata non insorga marcescenza.

Evitare che rimangano spazi sul ripiano, ma riempirlo sempre.

Eliminare quelli alterati perchè sono deleteri per gli altri sani sia per la contaminazione sia per l'occhio del consumatore.

Bagnarli frequentemente con acqua nebulizzata purchè non siano troppo compattati.

Scheda

1. Conservazione

Temperatura	Umidità Relativa
5-7°C	90-95%

Durata: 2-3 settimane ma le condizioni termiche possono variare in funzione dello stadio di maturazione e della varietà.

Impiego dell'atmosfera controllata.

Non commerciale e non particolari vantaggi si ottengono se non una lieve riduzione del danno da freddo quando l'anidride carbonica è attorno al 5-7%.

2. Produzione di etilene

Bassa	0.5 uL/Kg-ora a 5°C
	1-1.5 uL/Kg-ora a 10°C

3. Sensibilità all'etilene

Moderata; il fiore può appassire e cadere

4. Respirazione

temperatura	(mg/kg-ora)
5°C	20-30
10°C	50-80

l'entità di respirazione dipende dalla varietà per calcolare il calore di respirazione in Joule/kg-ora si deve moltiplicare il valore di respirazione per 10,7 oppure per 122 e si ottiene in kcal/ton-giorno.

5. Danno da freddo

Gli zucchini sono particolarmente sensibili alle temperature al di sotto dei 5°C in funzione della varietà e dell'epoca di maturazione.

Punto di congelamento	-0.5°C
Contenuto in acqua	92-94%
Calore specifico	3.98 kJ/kg-°C

PREPARAZIONE PER IL MERCATO



Nel caso si adotti l'idrorefrigerazione questa può esser condotta anche sul prodotto non confezionato prima della selezione e calibrazione.

Figura 47 Diagramma zucchini

Raccomandazioni nell'impiego dell'acqua

Controllare frequentemente la concentrazione di sostanze sanizzanti se cloro attivo (75-100ppm). Oggi tuttavia dati i problemi relativi alla formazione di composti cancerogeni come i trialometani a seguito del trattamento con cloro dell'acqua ricca in sostanza organica, sarebbe preferibile usare acqua ozonata che garantisce dopo filtrazione sgrassante, l'abbattimento del BOD (biological organic demand) vale a dire della carica microrganica, consentendo quindi il riciclo dell'acqua e quindi il risparmio sia economico che di impatto ambientale;

pH 6.5-7.5;

Scaricare completamente l'acqua dalla vasca alla fine di ogni giorno di lavorazione e riempirla nuovamente con acqua pulita;

Usare tutte le sostanze in accordo con le indicazioni delle etichette;

Per l'idrorefrigeratore usare dei filtri sgrossanti per rimuovere le grosse particelle.

Raccomandazioni per l'idrorefrigerazione

L'acqua refrigerata deve essere il più possibile in contatto con la superficie del prodotto;

L'acqua deve circolare sul prodotto, non essere statica;

L'acqua deve essere sanitizzata;

L'acqua deve essere fredda;

Se sul confezionato usare contenitori di materiale impermeabile non chiudere i cartoni durante il trattamento;

Controllare la temperatura all'interno del frutto al termine del trattamento.

Raccomandazioni per l'aria forzata

Usare contenitori con aperture sui lati o sul fondo almeno del 5% dell'intera superficie;

Stivare in maniera opportuna le pedane con i contenitori con i frutti così da permettere l'adeguato flusso d'aria fredda; il sistema deve ridurre al minimo le possibilità di uscita dell'aria fredda da punti non desiderati;

Usare ventilatori con adeguata potenza per creare la richiesta depressione nel caso dei tipi a parete fredda o a serpentina;

Assicurare la bassa temperatura dell'aria di cella e che l'aria fredda circoli attorno ai prodotti;

Controllare la temperatura all'interno del frutto al termine del trattamento.

Riferimenti bibliografici citati nel testo

Agostini F., Tei F., Silgram M., Farneselli M., Benincasa P., Aller M.F. (2010). Decreasing nitrate leaching in vegetable crops through improvements in N fertiliser management. In: E. Lichtfouse (ed.), Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews 4, 54 pagg.

Ajwa H., Trout T. (1998). Soil distribution of alternative fumigants to methyl bromide applied to strawberry beds by drip irrigation systems. Atti dell'Annual International Research Conference on MB alternatives and emission reduction, 11, 11-20.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Roma.

Alpi A., Tognoni F., (1990). Coltivazione in serra: attuali orientamenti scientifici e tecnici. Edagricole, Bologna 4a Ed., ISBN 88-206-3181-4, 346 pp.

Anton A., Montero J.I., Munoz P., Pérez-Parra J., Baeza E., Soriano T., Escobar I., Hernandez J., Castilla N., (2006). Environmental and economic evaluation of greenhouse cooling systems in southern Spain. Acta Horticulturae, 719:211-214.

Auger J., Arnault I. (2005). Les disulfures, pesticides naturels le cas du DMDS, disulfure de diméthyle. AEPP 7me Conference Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier 26-27 octobre 2005.

Autori Vari (2004). Quaderno ARSIA 5/2004: Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua. ARSIA – Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'innovazione nel settore Agricolo-Forestale. LDC srl, Firenze.

Bacci L., Marzialetti P. (2004). Elementi di agrometeorologia. In Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua (Pardossi A, Incrocci L, Marzialetti P. a cura di). Quaderno ARSIA 5/2004, 23-34.

Bailey B.J., Hagget B.G.D., Hunter A., Albert W.J., Svanberg L.R. (1988). Monitoring nutrient film solutions using ion-selective electrodes. J. Agric. Eng. Res., 40, 129-142.

Bakker J.C., Bot G.P.A., Challa H., Van De Braak N.J. (1995). Greenhouse climate control: an integrated approach. Ed. Wageningen Pers, Olanda.

Balendonck J., Hemming J., Tuijl B.A.J. van, Incrocci L., Pardossi A., Marzialetti P. (2008). Sensors and wireless sensor networks for irrigation management under deficit conditions (FLOW-AID). In: Conference Proceedings CD of the International Conference on Agricultural Engineering / Agricultural & Biosystems Engineering for a Sustainable World - EurAgEng (European Society of Agricultural Engineers).

Barbieri G., De Pascale S. (1992). Salinità dell'acqua di irrigazione e colture ortofloricole. Colture Protette, 2, 75-81.

Barbieri G., De Pascale S. (2000). Studio di settore sul comparto ortoflorovivaistico nel comune di Torre del Greco. Ed. La Buona Stampa, Ercolano (Na), 106 pp.

Barbieri G., De Pascale S., Paradiso R., Maturi T. (2000). Il comparto ortoflorovivaistico nel comune di Ercolano. Ed. La Buona Stampa, Ercolano (Na), 120 pp.

Barbieri, G., De Pascale, S. (1994). La salinità dei suoli e delle acque d'irrigazione e la produzione floricola. In: "Florovivaismo: le strategie della ricerca e la programmazione dell'intervento pubblico". Regione Campania, pp. 33-49.

Bar-Yosef B. (1999). Advances in fertigation. *Advances in Agronomy*, 65, 1-77.

Battilani A., Bussieres P., Dumas Y. (2003). FERTIRRIGERE: a simple tool-model for managing water and nutrient supply in drip-irrigated processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 613, 155–158.

Battilani A. (2001). Calcolare correttamente la fertirrigazione con il minimo input. *L'informatore agrario* 57 (18): 35-42.

Battilani A. (2003). DY-FERT HC: a low-input dynamic approach to managing fertigation on a daily basis. *Acta Horticulturae* 613: 159-162.

Benincasa P., Boldrini A., Tei F., Guiducci M. (2004). N release from several green manure crops. Proc. VIII ESA Congress, Copenhagen , Denmark, 11-15 July 2004, 971-972.

Benincasa P., Guiducci M., Tei F. (2010). The nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation. *HortTechnology* (in stampa).

Benoit F., Ceustermans N. (1990). Culture d'aubergine sur des substrats sans risques pour l'environnement. *Plasticulture*, 85, 17-24.

Blackmer T.M., Schepers J.S., (1995). Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Product. Agr.* 8, 56-60.

Bullock D.G., Anderson D.S. (1998): Evaluation of the Minolta SPAD-502 Chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of plant nutrition* 21(4): 741-775.

Burns I.G. (2006). Assessing N Fertiliser Requirements and the Reliability of Different Recommendation Systems. *Acta Horticulturae* 700, 35-48.

Castelli F., Contillo R., Miceli F. (1996): Non-destructive determination of leaf chlorophyll content in four crop species. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 177: 275-283

Cavazza L. e Patruno A. (2005). *Terreno agrario-il comportamento fisico*. Reda edizioni Torino-Italia.

Charles P. (2003). MDS: a new alternative for soil disinfestation. *Atti dell'Annual International Research Conference on Methyl bromide alternatives and emissions reduction*, 23, 23-4.

Chatterjee C., Dube B.K. (2004). Nutrient Deficiency Disorders in Vegetables and their Management. In: *Disease Management of Fruit and Vegetables*, Vol. 1. Fruit and Vegetable Diseases (ed. K.G. Mukerji), Kluwer Academic Publishers, 145 – 188.

Chellemi D. (2002). Nonchemical management of soilborne pests in fresh market production systems. *Phytopathology*, 92, 1367-1372.

Clematis F., Minuto A., Gullino M. L., Garibaldi A. (2008). Induced suppressiveness to fusarium oxysporum f.sp. radicis lycopersici in perlite and perlite-peat substrates in closed soilless systems. *Phytoparasitica*, 35 (1), 77-85.

Costigan P.A. (1988). The Placement of Starter Fertilizers to Improve the Early Growth of Drilled and Transplanted Vegetables. *Proceeding of Fertiliser Society* 274, 1-24.

Csinos A.S., Summer D.R., Johnson W.C., Johnson A.W., McPherson R.M., Dowler C.C. (2000). Methyl bromide alternatives in tobacco, tomato and pepper transplant production. *Crop Production*, 19, 39-49.

Dalla Costa L., Delle Vedove G., Giovanardi R. (1999). Estimate of plant N status in 2 potato cultivars using portable Chlorophyll Meter. *Proceeding 14° EAPR Meeting*, 466-467.

Davis J.L., Chudobiak W.J. (1975). In situ meter for measuring relative permittivity of soil. *Geol. Surv. Can. Pap.*, 75, 75-79.

De Koning A.N.M., (1994). Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. PhD dissertation Wageningen Agricultural University, Wageningen, 240pp.

De Pascale S., Maggio A., Barbieri G., (2006). La sostenibilità delle colture protette in ambiente Mediterraneo: limiti e prospettive. *Italus Hortus*, 13(1): 33-48.

Demyttenaere P., Hofman G., Vulsteke G., Van Meirvenne M., Van Ruymbeke M., Meirvenne M. van, Ruymbeke M. van. (1991). Minimizing NO₃-N leaching losses under field-grown vegetables *Pedologie*, 41, 105-117.

Doorenbos J., Pruitt W.O. (1977). Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24*. Roma.

Dueck, T.A.; Poudel, D.; Janse, J.; Hemming, S., (2009). Diffuus licht - wat is de optimale lichtverstrooiing? Report 308, Wageningen UR Greenhouse Horticulture.

Duniway J.M. (2002). Status of chemical alternatives to methyl bromide for pre-plant fumigation in soil. *Phytopathology*, 92, 1337-1342.

Errebhi M., Rosen C.J., Gupta S.C., Birong D.E. (1998). Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J.* 90: 10-15.

Fabbri, A. (2001). Produzioni vegetali. Edagricole-Edizioni Agricole della Calderini srl. Bologna-Italia.

FAO (1977). Crop water requirements. Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (eds.) *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24*. Roma.

FAO (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (Eds.). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*. Roma.

Farneselli M., Benincasa P., Tei F. (2010). Validation of N nutritional status tools for processing tomato. Proc 4th Int. Symposium on Ecol. Fert. Strat. Field Veg. Prod. (ed. R.U. Larsen), Acta Horticulturae 852, 227-232.

Feller C., Fink M. (2002). Nmin target values for field vegetables. Acta Horticulturae 571:195-201.

Fink M., Scharpf HC. (1992). Dünger-Dosierung im Freiland-Gemüsebau, Entscheidung sunterstützung durch; N-Expert“. Dtsch Gartenbau 46, 1688–1690.

Gamliel A., Stapleton J. (1993). Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. Phytopathology, 83, 899-905.

Garibaldi A., Baudino M., Minuto A., Gullino M.L. (2008). Effectiveness of fumigants and grafting against tomato brown root rot caused by *Colletotrichum coccodes*. Phytoparasitica, 36, 483-488.

Garibaldi A., Gullino M.L. (1995). Focus on critical issues in soil and substrate disinfestation towards the year 2000. Acta Horticulturae, 382, 21-36.

Garibaldi A., Minuto A., Clematis F., Gullino M.L. (2009). Osservazioni sull'uso di sfarinati di brassicacee in combinazione con una solarizzazione simulata contro gli agenti di due tracheofusariosi. Protezione delle colture, in stampa.

Garibaldi A., Minuto A., Gullino M.L. (2008). Osservazioni sull'efficacia della biofumigazione combinata o meno con l'innesto e con la pacciamatura contro la verticilliosi della melanzana. Protezione delle colture, 1 (2), 25-28.

Garibaldi A., Minuto A., Gullino M.L. (2008b). Valutazione di vecchi e nuovi fumiganti nei confronti della verticilliosi e di nematodi galligeni della melanzana. Protezione delle colture, 1 (1), 38-41.

Gianquinto G., Fecondini M., Mezzetti M., Orsini F. (2009). Steering nitrogen fertilization by means of portable chlorophyll meter reduces nitrogen input and improves quality of fertigated cantaloupe (*Cucumis melo* L. var. *cantalupensis* Naud.). J. Sci. Food Agr., 90: 482-493.

Gianquinto G., Goffart J.P., Olivier M., Guarda G., Colauzzi M., Dalla Costa L., Delle Vedove G., Vos J. & MacKerron D.K.L. (2004). The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop. Potato Res., 47, 35-80.

Gianquinto G., Sambo P., Bona A. (2003). The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop: a methodological approach. Acta Horticulturae 627, 217-224.

Gianquinto G., Sambo P., Bona S., (2001). Azoto e patata (il metodo). Colture protette 4, p 55.

Gianquinto G., Sambo P., Borsato D. (2006). Determination of SPAD Threshold Values in Order to Optimise the Nitrogen Supply in Processing Tomato. Acta Horticulturae 700, 159-166.

Gilardi G., Keiji S., Minuto A., Gullino M.L., Garibaldi A. (2008). Sensibilità alle alte temperature di forme di resistenza di patogeni tellurici e prime esperienze d'impiego di un generatore di vapore semovente. Atti Incontri Fitoiatrici 2008, 58.

Gilardi G., Martano G., Gullino M.L., Garibaldi A. (2005). Resistenza di cultivar di lattuga a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Informatore Fitopatologico – La Difesa delle Piante*, 55 (6), 44-47.

Goulding K. (2000). Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil Use Manage* 16, 145–151.

Greenwood D.J. (1990). Production and productivity: the nitrate problem? *Ann. Appl. Biol.* 117, 209-231.

Greenwood D.J., Lemaire G., Gosse G., Cruz P., Draycott A., Neeteson J.J. (1990). Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66, 425-436.

Greenwood DJ, Kubo K, Burns IG, Draycott A (1989) Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35 (3), 367–381.

Greenwood, D.J. (2001). Modelling N-response of field vegetable crops under diverse conditions with N_ABLE: a review. *Journal of Plant Nutrition* 24 (11): 1799 - 1815.

Grignani C., Bassanino M., Sacco D., Zavattaro L. (2003). Il bilancio degli elementi nutritivi per la redazione del piano di concimazione. *Rivista di Agronomia* 37, 155-172.

Gullino M.L., Camponogara A., Gasparrini G., Rizzo V., Clini C., Garibaldi A. (2003). Replacing methyl bromide for soil disinfestation; the italian experience and the implication for other countries. *Plant Disease*, 87, 1017-1021.

Gullino M.L., Clini C., Garibaldi A. (2005). Life without methyl bromide: the italian experience in replacing the fumigation. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, Ghent University, 70, 13-25.

Gullino M.L., Minuto A., Gilardi G., Garibaldi A., Ajwa H., Duafala T. (2002). Efficacy of preplant soil fumigation with chloropicrin for tomato production in Italy. *Crop Protection*, 21, 741-749.

Gullino M.L., Spadaro D., Garibaldi A. (2005). Integrated approaches for soil disinfestation. *Acta Horticulturae* 698, 91-98.

Hamdy A. (2003). Impiego sostenibile di risorse idriche non convenzionali in agricoltura. In Atti del Congresso Internazionale "I campi hanno sete", Roma, 29 ottobre 2003.

Hartz T.K. (2003). The Assessment of Soil and Crop Nutrient Status in the Development of Efficient Fertilizer Recommendations. *Acta Horticulturae* 627, 231-240.

Hartz, T.K. and Hochmuth G.J. (1996). Fertility management of drip-irrigated vegetables. Hort Technology, 168-172.

Hebbar S.S., Ramachandrappa B.K., Nanjappa H.V., Prabhakar M. (2004). Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato. European Journal of Agronomy. 21, 117-127.

Heckathorn S.A., Downs C.A., Sharkey T.D., Coleman J.S. (1998). The small methionine-rich chloroplast heat shock protein protects photosystem II electron transport during heat stress. Plant Physiology 116: 439-444.

Heuvelink E. (1989). Influence of day and night temperature on the growth of young tomato plants. Scientia Horticulturae, 38, 11-22.

Ho L.C., Hewitt J.D. (1986). Fruit development. In: J. G. Atherton and J. Rudich (Eds.), The Tomato Crop: a Scientific Basis for Improvement. Chapman, Hall, New York: 201-239.

Hochmuth G., Maynard D., Vavrina C., Hanlon E., Simonne E. (2009). Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida. University of Florida – IFAS Extension, document HS964, pagg. 55.

Incrocci L., Incrocci G., Pardossi A., Lock G., Nicholl C., Balendonck J. (2009). The calibration of wet-sensor for volumetric water content and pore water electrical conductivity in different horticultural substrates. Acta Horticulturae (ISHS) 807:289-294.

Incrocci L., Marzialetti P., Incrocci G., Balendonck J, Spagnol S. and Pardossi A. (2010). Application of wet sensor for management of reclaimed wastewater irrigation in container-grown ornamentals (*Prunus laurocerasus* L). In: Transactions of the Third International Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT", Murcia, Spain, April 7-9, 2010, editors: I.C. Paltineau and J.V. Muñoz; Paper 2.8, pp.12.

Incrocci L., Stanghellini C., Dimauro B., Pardossi A. (2008b). Rese maggiori a costi contenuti con la concimazione carbonica. L'Informatore Agrario, 21:57-59.

Incrocci L., Stanghellini C., Dimauro B., Pardossi. A. (2008). Concimazione carbonica in serra nella realtà italiana: aspetti produttivi ed economici. Il Floricoltore, 5: 35-40.

ISMEA (2005). Panel aziende agricole: l'ortofrutta italiana, scenario attuale e nuova PAC. 20 pp.

ISTAT (2007). Aziende con seminativi e relativa superficie investita per classe di superficie agricola autorizzata(SAU) e principali coltivazioni praticate. Tavole dati.

ISTAT (2008). La distribuzione per uso agricolo dei prodotti fitosanitari. Anno 2008. 13 pp.

- Iwahori S. (1965). High temperature injuries in tomato IV. Development of normal flower buds and morphological abnormalities of flower buds treated with high temperature. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science* 34: 33-41.
- Janse J. (2003). Bij nood kan komkommer tijdelijk 'koud'. *Groenten + fruit* (19): 28-29
- Johnkutty I., Palaniappan S.P. (1996). Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice. *Fertilizer Res.* 45, 21-24.
- Jones H.G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55, 2427-2436.
- Justes E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M., Thelier-Huche L., (1994). Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crop. *Annals of Botany*, 74, 397-407.
- Katan J., DeVay J.E. (1991). *Soil solarisation*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Keeney D. R. and Wildung R. E.. (1977). Chemical properties of soils. p. 75–97. In L.F. Elliott, F.J. Stevenson (eds.). *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA.
- Kimura R., Okada S., Miura H., Kamichika M., (2004). Relationship among the leaf area index, moisture availability and spectral reflectance in an upland rice field. *Agricultural Water Management* 69: 83-100.
- Kirkegaard J.A., Sarwar M., Matthiessen J.N. (1998). Assessing the biofumigation potential of crucifers. *Acta Horticulturae* 459, 105-111.
- Klueva N.Y.; Maestri E., Marmiroli N., Nguyen H.T. (2001). Mechanisms of Thermotolerance. in *Crops*. In: A.S. Basra (Ed), *Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress*. Haworth Press, Inc., New York, ISBN 1-56022-890-3: 177-181.
- La Malfa G. (1988). L'ortofloricoltura protetta nei Paesi mediterranei. *Memorie e Rendiconti dell'Accademia di Scienze Lettere e Belle Arti degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale*, III(VIII): 213-247.
- Lamberti F. (2001). Il punto sui nematodi dopo la messa al bando del bromuro di metile. *Informatore Fitopatologico – La Difesa delle Piante*, 51 (10), 31-34.
- Larcher W. (1995). *Physiological plant ecology*. Ed. Springer, Berlino, Germania.
- Lawlor D.W., Lemaire G., Gastal F. (1997). Nitrogen plant growth and crop yield. In: *Plant nitrogen* (Lea P.J., Morot-Gaudry J.F., eds.), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Lazzeri L., Leoni O., Manici L.M. (2004). Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Industrial Crops and Products*, 20, 59-65.
- Lazzeri L., Manici L.M. (2000). The glucosinolate-myrosinase system: a natural and practical tool for biofumigation. *Acta Horticulturae*, 532, 89-95.

- Le Bot J., Adamowicz S., Robin P. (1998). Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae* 74: 47-82.
- Lemaire G. (2008). Diagnostic tool (s) for plant and crop N status. In vegetative stage. Theory and practice for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28, 614–624.
- Lemaire G., Gastal F. (1997). N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G., (ed.), *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Heidelberg: Springer-Verlag, 3-43.
- Lemaire G., Salette J. (1984). Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prelevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II. Etude de la variabilité entre génotypes. *Agronomie*, 4, 431-436.
- Leonardi C., Noto G., Lipari V. (1999). Response of greenhouse tomato and lettuce to thermo-radiative conditions and nitrogen supply *Acta Hort.*, 491, 161-167.
- Lorenz H.P., Schaghecken J., Engl G., Maync A., Zegler J. (1989). Ordnungsgemäße Stikstoff- Versorgung im Freiland – Gem_sebau - KNS system. Rheinland Pflalz: Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten ISSN 0931-9026 1089391-3000.
- Luo W., Stanghellini C., (2005). Simulation of greenhouse management in the subtropics, Part II: Scenario study for the summer season. *Biosystems Engineering*: 90(4): 433-441.
- Ma B.L., Morrison M.J., Dwyer L.M. (1996). Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield maize. *Agron. J.*, 88, 915-920.
- Martin F.N. (2003). Development of alternative strategies for management of soil borne pathogens currently controlled with methyl bromide. *Annual Review of Phytopathology*, 41, 325-350.
- Matthiessen J.N., Kirkegaard J.A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease managements. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25, 235-265.
- Minuto A., Clematis F., Gullino M.L., Garibaldi A. (2007). Induced suppressiveness to *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* in rockwool substrate used in closed soilless systems. *Phytoparasitica*, 35, 77-85.
- Minuto A., Gaggero L., Garibaldi A., Gullino M.L. (2006). Disolfuro di dimetile: un promettente fumigante per la disinfestazione dei terreni agrari. *Atti Incontri Fitoiatrici* 2006, 95.
- Minuto A., Gilardi G., Garibaldi A. (2006). *Colletotrichum coccodes*: un parassita potenzialmente dannoso su pomodoro innestato. *Informatore Fitopatologico – La Difesa delle Piante*, 56 (9), 26-30.
- Minuto A., Gullino M.L., Garibaldi A. (2008). Problematiche fitosanitarie delle colture allevate fuori suolo e possibili strategie di difesa non convenzionali. *Atti Incontri Fitoiatrici* 2008, 20.

- Minuto A., Serges T., Garibaldi A. (2005). Indicazioni sperimentali relativamente a una resistenza soltanto parziale di *Solanum torvum* a *Verticillium dahliae*. *Informatore Fitopatologico – La Difesa delle Piante*, 55 (5), 52-55.
- Mistriotis A., Arcidiacono C., Picono P., Bot G.P.A., Scarascia-Mugnozza G., (1997). Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low wind speeds. *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 121-135.
- Mugnai S. (2004). Elementi di ecofisiologia vegetale. In *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua* (Pardossi A, Incrocci L, Marzioletti P. a cura di). *Quaderno ARSIA 5/2004*, 35-48.
- Nederhoff E.M. (1994). Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. PhD thesis, Agricultural University, Wageningen: 213 pp.
- Neeteson J, Langeveld J, de Haan J (2003). Nutrient balances in field vegetable production systems. *Acta Horticulturae* 627, 13–23.
- Neeteson J.J. (1995). Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables. In: *Nitrogen fertilization in the environment* (P.E. Bacon, ed.), Marcel Dekker, New York, chap. 8: 295-325.
- Neeteson J.J., Carton O.T. (2001). The Environmental Impact of Nitrogen in Field Vegetable Production. *Acta Horticulturae* 563, 21-28.
- Nkoa R., Coulombe Jean Desjardins Y., Tremblay N. (2001). Toward optimization of growth via nutrient supply phasing: nitrogen supply phasing increases broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Growth and yield. Journal of Experimental Botany*, 52 (357), 821-827.
- Ohr H.D., Sims J.J., Grech N.M. (1996). Methyl iodide, an ozone safe alternative for methyl bromide as soil fumigant. *Plant disease*, 80, 7331-735.
- Olson S.M., Simonne E. (2008). *Vegetable Production Handbook for Florida 2007-2008* - University of Florida,. 442 pagg + XI.
- Oster, J.D., Rhoades, J.D. (1990). *Steady state root zone salt balance – ASCE salinity manual*.
- Pagliai M. (1997). *Metodi di analisi fisica del suolo*. Ministero delle Politiche Agricole. pp. 29-35.
- Papadopoulos I., (2000). Fertigation: present situation and future perspective. In: Ryan J. (ed.), *Plant Nutrient Management Under Pressurized Irrigation systems in the Mediterranean Region*. Proceedings of the IMPHOS International Fertigation Workshop Organizzated by the World Phosphate Institute (IMPHOS), Amman, Jordan. Incarda, Syria, 232-245.
- Pardossi A. (1994). *Atti workshop "Le coltivazioni a ciclo chiuso: l'impiantistica, la gestione della soluzione, gli aspetti fitopatologici"*. 17-18 novembre Capannori (Lucca).

- Pardossi A. (2000). Tecniche di coltivazione a basso impatto ambientale., *Colture Protette*, 6, 57-60.
- Pardossi A., Delli Paoli P. (2003). La fertirrigazione delle colture orticole. Il *II Quadrifoglio*, Livorno.
- Pardossi A., Incrocci L., Marzialetti P. (editori) (2004). Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua. Quaderni ARSIA (Regione Toscana), Firenze, 289 pag. (scaricabile dal sito www.arsia.regione.toscana.it).
- Pardossi A., Incrocci L., Incrocci G., Malorgio F., Battista P, Bacci L., Rapi B., Marzialetti P. Hemming J., Balendonck J. (2009). Root Zone Sensors for Irrigation Management in Intensive Agriculture. *Sensors* 9, 2809-2835.
- Peet M.M., Willits D.H., Gardner R. (1997). Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *Journal of Experimental Botany*, 48: 101-111.
- Peet M.M., Sato S., Gardner R.G. (1998). Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. *Plant, Cell & Environment* 21: 225-231.
- Pérez-Parra J.J., (2002). Ventilación natural de invernaderos tipo parral. PhD Thesis. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba, Spain.
- Piekielek W.P., Fox R.H. (1992). Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, 84, 59-65.
- Pisante M. (2007). *Agricoltura Blu. La via italiana dell'agricoltura conservativa. Principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile.* *IlSole24Ore-Edagricole*, Bologna-Italia.
- Plinius S.G. (77). *Naturalis Historia. Liber XIX: 19,4 and 23,5.* Ajasson de Grandsagne (ed.), 1829-1833. *Bibliothèque Latine-Française. C.L.F. Panckoucke*, Paris.
- Prasad M., Simmons P., Maher M.J. (2004). Release characteristics of organic fertilisers. *Acta Horticulturae* 644, 163-170.
- Pressman E., Peet M.M., Mason Pharr D., (2002). The effect of heat stress on tomato pollen characteristics is associated with changes in carbohydrate concentration in the developing anthers. *Annals of Botany*, 90:631-636.
- Radaelli L., Calamai L. (2001). *Chimica del terreno.* Piccin Nuova Libreria SpA Padova-Italia.
- Rahn C. (2002). Management strategies to reduce nutrient losses from vegetables crops. *Acta Horticulturae* 571, 19-25.
- Rahn C.R., Greenwood D.J., Draycott A. (1996). Prediction of nitrogen fertilizer requirement with HRI WELL_N Computer Model. *Progress in Nitrogen Cycling. Proceedings of the 8th nitrogen fixation workshop, University of Ghent, Belgium, 5-7 Sept 1994* Kluwer, Dordrecht, 255-258.

- Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S. E. (2002). *Biologia delle Piante*, 6^a ediz. italiana, Zanichelli.
- Riley H., Guttormsen G. (1999). Alternative equations for critical N-concentration in cabbage. *Acta Horticulturae* 506, 123-128.
- Rivero R.M., Ruiz J.M., Romero L.M., (2004). Importance of N source on heat stress tolerance due to the accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in tomato plants. *Plant Biology*, 6: 702-707.
- Rosa E.A.S., Heaney R.K., Fenwich G.R., Portas C.A.M. (1997). Glucosinolates in crop plant. *Horticultural Reviews*, 19, 99-125.
- Rühlmann J. (1999). Calculation of Net Nitrogen Mineralization From the Decomposable Soil Organic Matter Pool. *Acta Horticulturae* 506, 167-174.
- Rylski I. (1979). Fruit set and development of seeded and seedless tomato fruits under diverse regimes of temperature and pollination. *J. Am. Soc. Hort.*, 104, 835-838.
- Salo T., Soujala T., Kallela M. (2002). The effect of fertilization on yield and nutrient uptake of cabbage, carrot and onion. *Acta Hort.* 571, 235-241.
- Sandoval-Villa M., Wood C.W., Guertal E.A. (1999). Ammonium concentration in solution affects chlorophyll meter readings in tomato leaves. *J. Plant Nutr.*, 22, 1717-1729.
- Sandoval-Villa M., Guertal E.A., Wood C.W. (2000). Nitrogen form and timing effects on growth of greenhouse tomato plants. *J. Plant Nutr.*, 23, 649-661.
- Sato S, Peet M.M., Gardner R.G., (2001). Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Scientia Horticulturae* 90: 243-254
- Sato S, Peet M.M., Thomas J.F. (2002). Determining critical pre- and post- anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. *Journal of Experimental Botany* 53(371): 1187-1195
- Sato S., Peet M.M., Thomas J.F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant, Cell and Environment*, 23:719-726.
- Sato S., Peet M.M., (2005). Effects of moderately elevated temperatures stress on the timing of pollen release and its germination in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 80(1):23-28.
- Scaife A., Turner M. (1984). *Plant analysis and sap testing*. Chemical Publishing, New York, USA.
- Scharpf H.C. (1991 a). *Stickstoffdüngung im Gemüsebau.*, AID-Heft 1223. Bonn; Auswertungs-und Informationdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V., 35 pagg.

Scharpf H.C. (1991). Dungenfenster: Fruhwarnsysteme für die Versorgung von Land und Forst, Heft, 10:S.24.

Schenk M.K. (2006). Nutrient Efficiency of Vegetable Crops. *Acta Horticulturae* 700, 25-38.

Sexton P., Carroll J. (2002). Comparison of SPAD chlorophyll meter readings vs. petiole nitrate concentration in sugarbeet. *J. Plant Nutr.* 25, 1975-1986.

Sigandhupe R.B., Rao G.G.S.N., Patil N.G., Brahmanand P.S. (2003). Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.). *European J. of Agronomy*, 19, 327-340.

Stanghellini C., (2004). Producción de vegetales en cultivo protegido: manejo óptimo del microclima. *Proceeding 5th International Symposium of Hydroponics*, Universidad Autónoma de Chihuahua, Mexico, ISBN: 970-748-009-2: 31-39.

Sugiyama T., Iwahori S., Takahashi K. (1966). Effect of high temperature on fruit setting of tomato under cover. *Acta Horticulturae*, 4: 63-69.

Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT", Murcia, Spain, April 7-9, 2010, editors: I.C. Paltineau and J.V. Muñoz; Paper 2.8, pp.12.

Tei F., Onofri A., Guiducci M. (1996). Relationships between N-concentration and growth in sweet pepper. *Proc 4th ESA Congress*, Veldhoven, The Netherlands, 7 - 11 July 1996, vol. II, 602 – 603.

Tei F., Benincasa P., Guiducci M. (1999). Nitrogen fertilisation on lettuce, processing tomato and sweet pepper: yield, nitrogen uptake and the risk of nitrate leaching. *Acta Horticulturae* 506, 61–67.

Tei F., Benincasa P., Guiducci M. (2000). Effect of nitrogen availability on growth and nitrogen uptake in lettuce. *Acta Horticulturae* 533, 385–392.

Tei F., Benincasa P., Farneselli M., Guiducci M. (2005). Fabbisogni di azoto in pomodoro da industria e lattuga: informazioni indispensabili per la gestione della fertirrigazione. *VII Giornate Tecniche SOI*, Padova, 2-3 Dicembre 2005. *Colture Protette*, 12, 25.

Tei F., Benincasa P., Guiducci M. (2002). Critical Nitrogen Concentration in Processing Tomato. *European Journal of Agronomy* 18, 45-55.

Tei F., Benincasa P., Guiducci M. (2003). Critical nitrogen concentration in lettuce. *Acta Horticulturae* 627, 187-194.

Tesi R. (2008) Concimazione. In: Tesi R., *Colture protette – Ortoflorovivaismo in ambiente mediterraneo*, Edagricole VI edizione, 111 - 141.

Tesi R., Lenzi A. (2005). Nutrizione azotata per un'orticoltura sostenibile. *Italus Hortus* 12 (1), 57-73.

- Thompson R.B., Martínez-Gaitan C., Gallardo M., Giménez C., Fernández M.D. (2007). Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Wat. Mgt.* 89, 261-274.
- Thorup-Kristensen K., Sørensen J.N. (1999). Soil nitrogen depletion by vegetable crops with variable root growth. *Acta Agric Scand, Sect B – Soil Plant Sci.* 49, 92–97.
- Thorup-Kristensen K., Magrid J., Stroumann Jensen L. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79, 227-302.
- Tognoni F., Incrocci L. (2003). Le colture fuori suolo: situazione in Italia e prospettive per il futuro. *Informatore Fitopatologico*, 2, 7-12.
- Topp G.C., Davis J.L., Annan A.P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16:574-582
- Tremblay N., Scharpf H.C., Weier U., Laurence H., Owen J. (2003). Nitrogen Management in field vegetables. Ed Agriculture et Agroalimentaire Canada, Cat. No. A42-92/2001E-INISBN 0-662-30494-2.
- Turner F.T., Jund M.F. (1991). Chlorophyll Meter to Predict N Topdress Requirement of Semidwarf Rice . *Agron. J.*, 83, 926-928.
- van Noordwijk M. (1990). *Plant Nutrition-Physiology and Application.* (Ed. Beusichem M.L.), Kluwer Academic Publisher, 73-79.
- van Os E.A., Wahanka W., Brunis M.A., Seidel R. (2000). Slow filtration: a technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems. *Acta Horticulturae*, 559, 495-502.
- Venema J. H., Posthumus F., Van Hasselt P. R. (1999). Impact of suboptimal temperature on growth, photosynthesis, leaf pigments and carbohydrates of domestic and high-altitude wild *Lycopersicon* species. *Journal of Plant Physiology*, 155, 711-718.
- Vitosh M.L., Warncke D.D., Lucas R.E. (1994). Secondary and micronutrients for vegetables and field crops. Michigan State University Extension, paper E-486, 18 pagg.
- Vos J., Struik P.C. (1992). Crop responses to nitrogen. In: Meulenbroek (Ed.), *Agriculture and Environment in Eastern Europe and The Netherlands*, Wageningen Agricultural University, Wageningen. pp 195-205.
- Vos J., Bom M., (1993). "Hand-held chlorophyll meter" a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato Res.*, 36, 309-316.
- Vos J., (1999). Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget. *J. Agricultural Sci.*, 133, 263-274.

Wehrmann J., Scharpf H. (1986). The Nmin method-an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. *Z Pflanzenernaerh Bodenk* 149, 337–344.

Westermann D.T., Kleinkopf G.E., Porter L.K. (1988). Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *Am. Potato J.*, 65, 377-386.

Wichmann W. (1996). Ecological aspects of Vegetable Fertigation in Integrated crop Production in the Field. *Acta Hort.*, 428, 73-83.

Wood C.W., Tracey P.W., Reeves D.W., Edmisten K.L. (1992). Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter. *J. Plant Nutr.*, 15, 1435-1448.

Siti web

www.inran.it : INRAN, Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione: banca dati di composizione alimenti.

<http://4e.plantphys.net/> : Plant Physiology on-line, Fourth Edition, Topic 5.1. Symptoms of Deficiency in Essential Minerals (by W. Berry, UCLA).

<http://www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/M1190.html>: Diagnosing Nutrient Disorders in Fruit and Vegetable Crops (by M. Peter, P.M. Bierman & C.J. Rosen, University of Minnesota).

<http://www.sustgreenhouse.eu> : La Serra Sostenibile

