L'estratto contiene pagine non in sequenza

Luca Incrocci, Fernando Malorgio, Daniele Massa,
Alberto Pardossi

Colture fuori suolo

Idroponica e coltivazione in substrato

edagricole

L'estratto contiene pagine non in sequenza

1ª edizione: maggio 2022

© Copyright 2022 by «Edagricole – Edizioni Agricole di New Business Media srl»
via Eritrea 21 – 20157 Milano

Redazione: Piazza G. Galilei, 6 - 40123 Bologna

Vendite: tel. 051/6575833; fax 051/6575999
e-mail: libri.edagricole@newbusinessmedia.it – http://www.edagricole.it

5572

Proprietà letteraria riservata – printed in Italy

La riproduzione con qualsiasi processo di duplicazione delle pubblicazioni tutelate dal diritto d'autore è vietata e penalmente perseguibile (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633). Quest'opera è protetta ai sensi della legge sul diritto d'autore e delle Convenzioni internazionali per la protezione del diritto d'autore (Convenzione di Berna, Convenzione di Ginevra). Nessuna parte di questa pubblicazione può quindi essere riprodotta, memorizzata o trasmessa con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma (fotomeccanica, fotocopia, elettronica, ecc.) senza l'autorizzazione scritta dell'editore. In ogni caso di riproduzione abusiva si procederà d'ufficio a norma di legge.

Le illustrazioni alle pagine 22 (2.10 destra), 57, 67, 79 (in alto) sono di Davide Abbate.

Realizzazione grafica: Emmegi Group, via F. Confalonieri, 36 - 20124 Milano
Impianti e stampa: Centro Stampa Digitalprint, Via A. Novella, 15 - 47922 Rimini (RN)
Finito di stampare nel maggio 2022

ISBN-978-88-506-5572-4

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Presentazione

La radicale trasformazione dei processi produttivi, causata dall'innovazione tecnologica, ha avuto un significativo impatto anche sul comparto agricolo, ancorato per consuetudine a pratiche di coltivazione tradizionali. È chiaro che, in questo contesto, l'anello più debole della catena produttiva è stato quasi sempre il coltivatore, non sempre in grado di affrontare da solo la sfida dell'innovazione. Sta di fatto che, per sopperire alle leggi di un mercato che richiedeva e richiede una produzione continua e qualitativamente sempre migliore, gli operatori hanno subito, senza comprenderne fino in fondo la portata, questo nuovo modello produttivo, contraddistinto da tecniche di coltivazione sempre più complesse e, a volte, ancora in fase di sperimentazione.
Tuttavia, nel corso di questi anni, la ricerca ha rappresentato un *driver* significativo soprattutto per lo sviluppo del settore delle colture protette. Nello specifico, oggetto di approfonditi studi sono stati prima i sistemi protettivi, ripensati nelle loro strutture e nei materiali di protezione per consentire lo sviluppo della pianta in un ambiente climatico adeguato; contemporaneamente, sono state sottoposte a controllo le condizioni climatiche (temperatura, luce, umidità); infine, sono stati condotti puntuali esperimenti sulle tecniche colturali vere e proprie. Un processo che ha permesso di espandere le aree di coltivazione anche in zone fino a pochi anni fa impensabili.
Fra le tecniche che hanno destato maggiore interesse e curiosità da parte degli operatori ci sono sicuramente le colture fuori suolo: un sistema sviluppato in laboratorio per condurre esperimenti in ambiente controllato, trasferito successivamente su scala commerciale con diversa gradualità a seconda della capacità ed esperienza degli operatori. Questo perché questa nuova tecnica, apparentemente di semplice attuazione, in realtà è complessa e di difficile gestione. Uno dei maggiori punti critici, ad esempio, è il mantenimento dell'equilibrio tra il fabbisogno nutritivo e le esigenze climatiche delle piante, perché influenzato da numerosi fattori esogeni ed endogeni che, interagendo tra loro, fanno sì che le variabili da controllare siano molteplici. Altro aspetto da non sottovalutare, oltre la conoscenza delle esigenze nutritive della pianta nelle diverse fasi di sviluppo, è il ruolo dei vari elementi nutritivi nella maturazione dei frutti, che incide sul processo produttivo.
A tutto questo si aggiunga la maggiore sensibilità del consumatore per le problematiche ambientali, che hanno posto ricercatori e produttori di fronte ad una nuova sfida: offrire un prodotto sicuro dal punto di vista igienico-sanitario e ottenuto con tecniche rispettose dell'ambiente. È ormai un dato di fatto che la produzione non debba tener conto solo degli aspetti quantitativi, ma anche di quelli qualitativi. Soprattutto è necessario considerare l'utilizzo più razionale delle risorse energetiche che hanno giocato un ruolo importante sul bilancio economico della produzione in serra tanto da consigliarne un utilizzo più oculato.
Già da queste breve premessa si percepisce dunque come questi ultimi decenni siano stati anni decisivi per l'espansione di questo settore, che ha attirato l'attenzione di una folta pattuglia di giovani e agguerriti ricercatori: i lori studi sono ormai un punto di riferimento per la comunità scientifica internazionale e questo volume ne è una concreta dimostrazione.
Nel licenziare questo volume non posso che sottolineare il rigoroso impianto scientifico e la perfetta articolazione fra i diversi temi esaminati dagli autori: i risultati sono infatti il frutto di una lunga preparazione teorica e di un'intensa attività di ricerca sperimentale, che hanno consentito agli autori di muoversi con padronanza su questo tema. In questa prospettiva se ne raccomanda la lettura non solo ai giovani ricercatori desiderosi di ampliare il proprio campo d'indagine, ma anche a tutti gli operatori che vogliono approfondire

L'estratto contiene pagine non in sequenza

la conoscenza dei processi e delle metodologie riferite alla coltivazione fuori suolo delle piante. Ecco perché, al fine di rendere l'opera più comprensiva e utile al lettore, in appendice al volume sono riportate una serie di istruzioni su come calcolare la composizione della soluzione nutritiva e regimare l'irrigazione, oltre ad alcuni richiami di chimica.

Pisa, marzo 2022
Franco Tognoni
Professore di orticoltura e floricoltura

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Premessa degli Autori

Le colture fuori suolo, idroponiche o su substrato, sono tecniche di coltivazione innovative e molto specializzate, che richiedono un'elevata professionalità da parte dei coltivatori e dei consulenti tecnici. In Italia, le colture fuori suolo hanno iniziato a diffondersi alla fine degli anni '80, inizialmente solo nei centri di ricerca e dopo, molto lentamente, anche nelle aziende commerciali.
A partire dagli anni 2000, una serie di fattori, come ad esempio l'abolizione del bromuro di metile, la forte restrizione dell'uso di altri prodotti geosterilizzanti, la richiesta di prodotti di qualità durante tutto l'anno e, più recentemente, lo sviluppo del *vertical* (o *indoor*) *farming*, hanno favorito una più decisa diffusione delle colture fuori suolo. Tuttavia, gli elevati costi di investimento, l'inadeguatezza climatica delle strutture protettive (serre e tunnel) e, soprattutto, le scarse conoscenze tecniche degli operatori, sono i principali fattori che impediscono, tutt'oggi, un'ampia diffusione delle colture fuori suolo in Italia, a differenza di altri Paesi europei dove queste tecniche rappresentano la normalità nelle colture protette e sono un elemento imprescindibile per unire la necessità di ottenere produzioni di elevata qualità e quantità, limitando, al tempo stesso, il loro impatto ambientale. Infatti, le colture fuori suolo sono caratterizzate da ridotti *buffer* idrici e nutritivi rispetto alla tradizionale coltivazione in terreno e richiedono conoscenze tecniche e una preparazione di base che non possono essere improvvisate, se si vogliono evitare sicuri insuccessi o una non piena espressione delle potenzialità produttive di queste stesse tecniche.

Gli Autori, che hanno dedicato una buona parte della loro vita professionale allo studio, all'ottimizzazione e alla divulgazione delle colture fuori suolo, con la stesura di questo libro hanno voluto cercare di colmare la carenza di testi in lingua italiana sull'argomento.
Il presente libro tratta, in un modo semplice, ma con rigore scientifico, vari aspetti delle colture fuori suolo, partendo dalla loro storia, passando quindi alla descrizione delle principali tecniche e delle proprietà fisiche e chimiche dei substrati più utilizzati, per arrivare ad illustrare le procedure per determinare la composizione della soluzione nutritiva e gestire l'irrigazione e la fertirrigazione, descrivendo nel dettaglio anche l'uso di software sviluppati dagli stessi Autori e disponibili gratuitamente in rete.
Completa l'opera una trattazione dettagliata delle principali specie ortive e ornamentali coltivate fuori suolo in Italia, soprattutto per quanto riguarda le loro esigenze climatiche e nutrizionali e le tecniche più idonee alla loro coltivazione, con particolare riguardo alla gestione della soluzione nutritiva. Alla stesura di questi capitoli hanno contribuito molti tecnici agronomi che hanno accumulato una lunga esperienza nel settore, ai quali gli Autori esprimono un sentito ringraziamento per la disponibilità a condividere le proprie conoscenze tecniche.
Pur con la struttura tipica dei testi accademici, il libro è in realtà destinato ad un'ampia platea di lettori, dall'hobbista allo studente delle scuole superiori o universitario, dai ricercatori agli operatori che si occupano quotidianamente di colture fuori suolo. Per questo motivo, gli Autori hanno introdotto molti box di approfondimento e schede tecniche, alternando capitoli descrittivi ad altri a carattere tecnico-scientifico, creando così vari percorsi di lettura in funzione delle conoscenze di base e delle esigenze di informazione del lettore, come indicato nel quadro sinottico della Tabella 1, a pagina seguente. È stata anche inserita un'appendice con alcuni richiami di chimica generale e inorganica, che sono necessari per comprendere alcune parti del libro.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Tabella 1 - Guida alla lettura del testo in funzione del tipo di lettore: i capitoli del libro di cui si consiglia una lettura approfondita sono indicati dal colore verde, mentre quelli di minore interesse o più tecnici sono identificati con il colore giallo.

Capitolo	Tipologia di lettore			
	Hobbista	Studente medio, coltivatore	Coltivatore esperto, studente universitario	Tecnico esperto, ricercatore
1. Lo scenario di riferimento				
2. Le principali tecniche di coltivazione				
3. I substrati				
4. La nutrizione minerale e la scelta della soluzione nutritiva				
5. Il calcolo della composizione della soluzione nutritiva				
6. Impianti e attrezzature				
7. L'irrigazione				
8. Il rifornimento dei nutrienti				
9. La gestione operativa della coltivazione				
10. La qualità dei prodotti orticoli				
11. La coltivazione degli ortaggi				
12. La coltivazione delle piante da fiore reciso e delle piante in vaso				
Appendice 1. Elementi di chimica generale e inorganica				
Appendice 2. Il software CAL-VIR				
Appendice 3. Il software SOL-NUTRI				

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare i seguenti esperti di colture fuori suolo per il prezioso contributo alla stesura del libro.

Dott. agronomo Costantino Cattivello

Perito agrotecnico Alessandro Cinelli

Dott. agronomo Marco Valerio Del Grosso

Dott. agronomo Vitangelo Di Pierro

Dott. agronomo Biagio Dimauro

Prof. Antonio Ferrante

Dott. agronomo Silvio Fritegotto

Dott. agronomo Simone Marchisio

Dott. agronomo Nicola Michelon

Prof.ssa Silvana Nicola

Prof. Francesco Orsini

Dott. agronomo Luigi Pennuzzi

Dott. Marco Landi

Dott. agronomo Giorgio Petrolo

Dott. agronomo Pasquale Restuccia

Dott. agronomo Gianluca Savini

Dott. agronomo Massimo Scacco

Dott. agronomo Franco Tosini

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Indice generale

Presentazione ..... Pag. III
Premessa degli Autori ..... " V
Ringraziamenti ..... " VII
Lista delle abbreviazioni ..... " XV

1 Lo scenario di riferimento (F. Malorgio) ..... " 1
1.1 Definizione e classificazione ..... " 1
1.2 Storia delle colture fuori suolo ..... " 1
1.3 Vantaggi e svantaggi delle colture fuori suolo ..... " 4
1.4 Attuale diffusione e prospettive di sviluppo delle colture fuori suolo ..... " 7
Bibliografia ..... " 9

2 Le principali tecniche di coltivazione (L. Incrocci) ..... " 11
2.1 Introduzione e classificazione ..... " 11
2.2 Le principali tecniche di coltivazione idroponica ..... " 14
2.2.1 Deep Water Culture e Deep Recirculating Water Culture ..... " 14
2.2.2 Floating system o idroponica galleggiante ..... " 15
2.2.2.1 *Dry hydroponics®* ..... " 19
2.2.3 Nutrient Film Technique (NFT) ..... " 19
2.2.3.1 *Super Nutrient Film Technique® e New Growing System®* ..... " 21
2.2.4 Aeroponica ..... " 21
2.3 Le principali tecniche di coltivazione su substrato ..... " 22
2.3.1 La subirrigazione ..... " 24
2.4 Conclusioni e tendenze evolutive delle tecniche di coltivazione fuori suolo ..... " 24
Bibliografia ..... " 25

3 I substrati (D. Massa) ..... " 27
3.1 Definizione e classificazione ..... " 27
3.2 Caratteristiche chimiche ..... " 30
3.2.1 Capacità di scambio cationico (*CSC*) ..... " 30
3.2.2 Reazione del substrato (pH) ..... " 32
3.2.3 Sali solubili, conducibilità elettrica e rapporto C/N ..... " 32
3.3 Caratteristiche fisiche ..... " 35
3.4 Le relazioni idriche nel sistema substrato-contenitore ..... " 42
3.5 Descrizione dei principali substrati organici ..... " 43
3.5.1 Ammendante compostato verde (compost verde) ..... " 44
3.5.2 Fibra e midollo di cocco ..... " 45
3.5.3 Fibra di legno stabilizzata ..... " 46
3.5.4 Torba ..... " 46
3.6 Descrizione dei principali substrati inorganici ..... " 47
3.6.1 Argilla espansa ..... " 48
3.6.2 Lana di roccia ..... " 48
3.6.3 Lapillo ..... " 49
3.6.4 Perlite ..... " 49
3.6.5 Pomice ..... " 49

L'estratto contiene pagine non in sequenza

3.6.6 Vermiculite ... Pag. 49
3.7 Conclusioni e prospettive future ... " 50
Bibliografia ... " 50

4 La nutrizione minerale e la scelta della soluzione nutritiva (L. Incrocci) ... " 53
4.1 Introduzione ... " 53
4.2 Ioni essenziali, utili e non essenziali per la pianta ... " 53
4.3 Assorbimento dell'acqua e dei nutrienti ... " 55
4.3.1 Movimento dell'acqua e dei nutrienti dalla zona radicale alla superficie della radice ... " 55
4.3.2 Assorbimento di acqua e di nutrienti dalla superficie della radice ... " 56
4.3.3 Trasporto dei nutrienti dalla radice alla parte aerea ... " 59
4.4 Valutazione della qualità dell'acqua irrigua per il suo uso nella coltivazione fuori suolo ... " 60
4.4.1 Valutazione dei principali parametri fisico-chimici dell'acqua irrigua e loro rimedi ... " 60
4.4.2 Valutazione dei parametri chimici dell'acqua irrigua ... " 62
4.5 La scelta della ricetta nutritiva ... " 64
4.5.1 Il pH della soluzione nutritiva ... " 65
4.5.2 La conducibilità elettrica ... " 68
4.5.3 I rapporti ionici ... " 69
4.5.4 I microelementi ... " 70
4.5.5 Aggiustamenti della composizione della "ricetta" nutritiva in caso di acque di scarsa qualità ... " 70
Bibliografia ... " 71

5 Il calcolo della composizione della soluzione nutritiva (L. Incrocci) ... " 73
5.1 Introduzione ... " 73
5.2 Tipi di acidi e sali usati nella coltura fuori suolo ... " 73
5.3 Calcolo della composizione di una soluzione nutritiva per una coltura fuori suolo ... " 76
5.3.1 Neutralizzazione dei bicarbonati ... " 78
5.3.2 Il bilanciamento dei macronutrienti ... " 78
5.3.3 Il bilanciamento dei micronutrienti ... " 86
5.3.4 Calcolo delle soluzioni *stock* ... " 86
Bibliografia ... " 90

6 Impianti e attrezzature (L. Incrocci) ... " 91
6.1 Introduzione ... " 91
6.2 Caratteristiche della serra ospitanti colture fuori suolo ... " 91
6.3 Supporti per la coltivazione ... " 92
6.4 Impianto di fertirrigazione e di erogazione della soluzione nutritiva ... " 94
6.4.1 Sistema di filtrazione ... " 95
6.4.1.1 *Filtro idrociclone* ... " 98
6.4.1.2 *Filtro a sabbia* ... " 98
6.4.1.3 *Filtri ad azione meccanica* ... " 99
6.4.2 Dispositivi per la fertirrigazione ... " 100
6.4.2.1 *Miscelatori a dosaggio volumetrico* ... " 101
6.4.2.2 *Miscelatori a controllo proporzionale* ... " 102
6.4.2.3 *Fertirrigatori computerizzati* ... " 103
6.4.3 Contenitori per le soluzioni *stock* ... " 104
6.4.4 Sistemi irrigui utilizzati nelle colture fuori suolo ... " 107
6.4.4.1 *Sistemi per aspersione* ... " 107
6.4.4.2 *Sistemi a microirrigazione* ... " 107
6.4.4.3 *Subirrigazione* ... " 109
6.5 Impianti per la disinfezione della soluzione nutritiva nei sistemi a ciclo chiuso ... " 110
6.5.1 La pastorizzazione della soluzione nutritiva ... " 111
6.5.2 Uso di radiazione ultravioletta ... " 111
6.5.3 Mezzi chimici per la disinfezione della soluzione nutritiva ... " 112

L'estratto contiene pagine non in sequenza

6.5.4 La filtrazione lenta su sabbia ... Pag. 112
6.5.5 Approccio integrato alla prevenzione delle malattie fungine nelle colture fuori suolo .. " 112
Bibliografia ... " 113

7 L'irrigazione (D. Massa) ... " 115
7.1 L'importanza di una corretta gestione idrica nella coltura fuori suolo ... " 115
7.2 Calcolo del volume irriguo e della frequenza di irrigazione ... " 116
7.3 Programmazione dell'irrigazione attraverso misure dirette dello stato idrico della zona radicale o della ET ... " 118
7.3.1 Sensori dielettrici per la misura del contenuto idrico volumetrico ... " 120
7.3.2 Tensiometri ... " 121
7.3.3 Metodo gravimetrico ... " 121
7.3.4 Monitoraggio del drenato ... " 122
7.4 Programmazione dell'irrigazione attraverso misure indirette dello stato idrico della zona radicale ... " 123
7.4.1 Modelli matematici per la stima dell'evapotraspirazione ... " 123
7.4.1.1 *Il modello di Penman-Monteith e modelli derivati* ... " 125
7.4.1.2 *Altri modelli semplificati* ... " 127
7.4.1.3 *Programmazione dell'irrigazione* ... " 127
7.4.2 Monitoraggio diretto dello stato idrico della pianta ... " 131
7.5 Casi studio sulla gestione dell'irrigazione nelle colture fuori suolo in coltura protetta e piena aria ... " 131
7.5.1 Pomodoro in serra ... " 131
7.5.2 Gerbera in serra ... " 132
7.5.3 Piante aromatiche in vivaio ... " 134
7.5.4 Piante arbustive in vivaio ... " 135
Bibliografia ... " 137

8 Il rifornimento dei nutrienti (D. Massa) ... " 139
8.1 Introduzione ... " 139
8.2 Il rifornimento dei nutrienti nel ciclo aperto ... " 141
8.3 Il rifornimento dei nutrienti nel ciclo chiuso ... " 146
8.4 Il rifornimento dei nutrienti nel ciclo chiuso discontinuo in presenza di acque saline ... " 147
8.4.1 Metodo con *CE* costante e decremento di nutrienti ... " 147
8.4.2 Metodo con *CE* variabile e nutrienti costanti ... " 148
8.4.3 Controllo con *CE* variabile e decremento di nutrienti (approccio misto) ... " 149
8.4.4 Procedure di scarico delle soluzioni ricircolate esauste ... " 149
8.5 Considerazioni conclusive ... " 151
Bibliografia ... " 153

9 La gestione operativa della coltivazione (L. Incrocci) ... " 155
9.1 Introduzione ... " 155
9.2 Controllo giornaliero del volume, del pH e della conducibilità elettrica della soluzione drenata ... " 156
9.2.1 La misura del volume di drenato ... " 157
9.2.2 Misura del pH del drenato ... " 160
9.2.3 La misura della conducibilità elettrica nella soluzione nutritiva ... " 161
9.2.4 Misura di ossigeno disciolto ... " 162
9.3 Analisi del substrato ... " 162
9.4 Kit per analisi rapide e sensori ionospecifici ... " 164
9.5 Test fitopatologici ... " 168
9.6 Correzioni da apportare alla soluzione nutritiva erogata sulla base dell'analisi della soluzione drenata: metodo De Kreij-Voogt ... " 169
9.7 Considerazioni conclusive ... " 176
Bibliografia ... " 176

L'estratto contiene pagine non in sequenza

10 La qualità dei prodotti orticoli (F. Malorgio) ... Pag. 179
10.1 Introduzione ... " 179
10.2 Qualità della produzione e coltura fuori suolo ... " 180
10.2.1 La gestione della conducibilità elettrica e qualità delle produzioni nelle colture fuori suolo ... " 180
10.2.2 Alimenti biofortificati ... " 181
10.2.3 La problematica dell'accumulo di nitrati negli ortaggi da foglia ... " 186
10.3 Considerazioni conclusive ... " 189
Bibliografia ... " 189

11 La coltivazione degli ortaggi (L. Incrocci, D. Massa, F. Malorgio, A. Pardossi) ... " 193
11.1 Introduzione ... " 193
11.2 Basilico ... " 193
11.2.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 194
11.2.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 201
11.3 Cetriolo ... " 202
11.3.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 203
11.3.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 206
11.4 Fragola ... " 207
11.4.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 209
11.4.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 214
11.5 Frutti di bosco (lampone e mirtillo) ... " 217
11.5.1 Il lampone ... " 217
11.5.1.1 *Tecniche fuori suolo utilizzate per il lampone* ... " 218
11.5.1.2 *Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche* ... " 218
11.5.2 Il mirtillo americano gigante ... " 221
11.5.2.1 *Tecniche fuori suolo utilizzate per il mirtillo* ... " 222
11.5.2.2 *Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche* ... " 223
11.6 Insalate e altri ortaggi da foglia ... " 224
11.6.1 Lattuga ... " 225
11.6.2 Altri ortaggi da foglia ... " 226
11.6.3 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 227
11.6.4 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 228
11.7 Melanzana ... " 232
11.7.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 234
11.7.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 235
11.8 Peperone ... " 237
11.8.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 238
11.8.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 240
11.9 Pomodoro ... " 241
11.9.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 244
11.9.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 245
11.10 Zucchino ... " 249
11.10.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 250
11.10.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 252
11.11 Considerazioni conclusive ... " 252
Bibliografia ... " 253

12 La coltivazione delle piante da fiore reciso e delle piante in vaso (L. Incrocci, D. Massa, F. Malorgio, A. Pardossi) ... " 255
12.1 Introduzione ... " 255
12.2 Calla ... " 257
12.2.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 258
12.2.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 260
12.3 Gerbera ... " 262

L'estratto contiene pagine non in sequenza

12.3.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... Pag. 264
12.3.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 265
12.4 Ranuncolo ... " 266
12.4.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 268
12.4.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 270
12.5 Rosa ... " 271
12.5.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 272
12.5.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 275
12.6 Specie ornamentali da vaso: fiorito e da fogliame ... " 276
12.6.1 Tecniche fuori suolo utilizzate ... " 277
12.6.2 Gestione della soluzione nutritiva e relative problematiche ... " 283
12.7 Considerazioni conclusive ... " 284
Bibliografia ... " 285

Appendice 1. Elementi di chimica generale e inorganica (L. Incrocci) ... " 287
A1.1 Introduzione ... " 287
A1.2 Definizioni di peso atomico, molare ed equivalente ... " 287
A1.2.1 Peso atomico ... " 287
A1.2.2 Mole ... " 287
A1.2.3 Peso equivalente ... " 288
A1.3 Modi per esprimere la concentrazione di una soluzione acquosa ... " 288
A1.3.1 Percentuale peso/peso ... " 288
A1.3.2 Peso di soluto per unità di volume ... " 288
A1.3.3 Molarità ... " 288
A1.3.4 Normalità ... " 288
A1.4 pH, conducibilità elettrica e solidi disciolti ... " 288
Bibliografia ... " 289

Appendice 2. Il software CAL-VIR (L. Incrocci) ... " 291
A2.1 Premessa e presentazione del software CAL-VIR ... " 291
A2.2 Opzione 1. Calcolo del volume irriguo netto e lordo ottimale delle colture in contenitore ... " 292
A2.3 Opzione 2. Calcolo del volume irriguo netto e lordo ottimale delle colture in terreno ... " 297
Bibliografia ... " 300

Appendice 3. Il software SOL-NUTRI (L. Incrocci) ... " 301
A3.1 Premessa e presentazione del software SOL-NUTRI ... " 301
A3.2 Guida rapida all'utilizzo del software SOL-NUTRI ... " 302
A3.2.1 Database "Formule Nutritive" e "Acidi e concimi" ... " 302
A3.2.2 Tool "Convertitore ppm in mM" ... " 303
A3.2.3 Sezione "Parametri" ... " 303
A3.2.4 Sezione "Calcolo" ... " 306
A3.2.4.1 *Risoluzione di alcuni problemi di bilanciamento dopo il calcolo automatico* ... " 308
A3.2.5 Sezione "Stampa soluzione" ... " 309
A3.2.6 Sezione "Test precipitazioni" ... " 309
Bibliografia ... " 311

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Lista delle abbreviazioni

α	Coefficiente colturale nel metodo semplificato di stima della *ET* di una coltura in serra basato sulla RG_{IN}.
γ	Costante psicrometrica
λ	Calore latente di vaporizzazione dell'acqua
ρ	Densità dell'aria media a pressione costante
$\Sigma Q_{X\text{-}NS}$	Sommatoria degli apporti del nutriente X ottenuta con il bilanciamento dei precedenti nutrienti durante il calcolo di una soluzione nutritiva
τ	Fattore di trasmissione globale della luce per una serra
Δ	Coefficiente angolare della regressione lineare tra la pressione di vapore a saturazione e la temperatura dell'aria
A	Coefficiente empirico per la componente radiativa nel modello di PM
AD	Acqua disponibile
AFD	Acqua facilmente disponibile
AND	Acqua non disponibile
AR	Acqua di riserva
B	Coefficiente empirico per la componente aerodinamica nel modello di PM
C	Concentrazione totale dei sali presenti in una soluzione nutritiva in g/L
c	Fattore di iniezione della soluzione *stock*
C^+	Somma della concentrazione dei cationi presenti in una soluzione nutritiva (nutrienti o non nutrienti)
C_A	Concentrazione dell'acido commerciale utilizzato per correggere il pH dell'acqua o della soluzione nutritiva
CA	Capacità per l'aria in un substrato
C_{ASS}	Concentrazione di assorbimento di un nutriente o non nutriente
CC	Capacità di contenitore
CE	Conducibilità elettrica di una soluzione acquosa (acqua irrigua o soluzione nutritiva)
CE_{ASS}; C_{ASS}	Conducibilità elettrica o concentrazione di assorbimento di un elemento nutriente o non nutriente (quantità di elemento assorbito per litro di acqua assorbito) da parte della coltura
CE_{Bulk}	Conducibilità elettrica del mezzo (terreno, substrato comprensiva anche dell'acqua contenuta), stimata sulla base di costanti dielettriche del mezzo
CE_{IN}; C_{IN}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente o non nutriente nella soluzione di rabbocco o reintegro
CE_{IRR}; C_{IRR}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente o non nutriente nell'acqua irrigua
CE_{MAXPSA}	Conducibilità elettrica massima tollerata nell'estratto della pasta satura del terreno.
CE_{MIN}; C_{MIN}	Conducibilità elettrica o concentrazione minima di un elemento nutriente tollerata dalla coltura nella zona radicale
CE_{PS}; C_{PS}	Conducibilità elettrica o concentrazione minima nella soluzione circolante dopo lo scarico della soluzione esausta

L'estratto contiene pagine non in sequenza

CE_{PSA}; C_{PSA}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un dato ione nell'estratto della pasta satura del terreno
CE_{PSL}	Conducibilità elettrica nella soluzione circolante dopo lo scarico della soluzione esausta e l'eventuale lavaggio del substrato
CE_{PW}	Conducibilità elettrica dell'acqua dei pori di un substrato o un terreno
CE^{RIF}	Conducibilità elettrica della soluzione nutritiva di riferimento
CE_{SD}; C_{SD}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente o non nutriente nella soluzione nutritiva drenata dal substrato
CE_{SDC}; C_{SDC}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente nella soluzione nutritiva drenata analizzata e corretta per la quantità di nutrienti contenuta (metodo De Kreij *et al.*, 1999)
CE_{SDMAX} C_{SDMAX}	Conducibilità elettrica o concentrazione massima di un elemento nutriente/non nutriente tollerata dalla coltura nella zona radicale
CE_{SDST}; C_{SDST}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un nutriente/non nutriente della soluzione drenata di riferimento (metodo De Kreij *et al.*, 1999)
CE_{SN}; C_{SN}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente o non nutriente nella soluzione nutritiva erogata
CE_{SN}^{SP}	Conducibilità elettrica di *set point*
CE_{SUB}; C_{SUB}	Conducibilità elettrica o concentrazione di un elemento nutriente o non nutriente nella soluzione circolante nella zona radicale (nel substrato)
CE_{SUBMAX}; C_{SUBMAX}	Conducibilità elettrica o concentrazione massima di un elemento nutriente/non nutriente tollerata dalla coltura nella zona radicale
CE_{SUBMIN}	Conducibilità elettrica minima di nutrienti da garantire nella zona radicale delle colture fuori suolo per la massima produzione
CI	Capacità idrica del substrato alla tensione di 1kPa
CI_i	Capacità idrica del substrato a un dato momento *i*
$CI_{i\text{-}SOGLIA}$	Soglia di capacità idrica del substrato misurata da sensore dielettrico sotto la quale si attiva l'irrigazione
c_p	Calore specifico dell'aria
CSC	Capacità di scambio cationico (dei substrati)
C_{ST}	Fattore di concentrazione delle soluzioni *stock*
CS_X	Percentuale dell'elemento X nel concime
CS_Y	Percentuale del contro-ione Y presente nel concime usato per il bilanciamento dell'elemento X nel calcolo della soluzione nutritiva
C_X	Concentrazione (mM) dell'elemento X da apportare con i concimi nell'operazione di bilanciamento del nutriente X, nel calcolo di una soluzione nutritiva
$C_{X\text{-}IRR}$	Quantità dell'elemento X già presente nell'acqua irrigua
$C_{X\text{-}NS}$	Concentrazione del contro-ione Y presente nel concime usato per il bilanciamento dell'elemento X nel calcolo della soluzione nutritiva
Cy	Concentrazione (mM) dell'elemento X da apportare con i concimi nell'operazione di bilanciamento del nutriente X, nel calcolo di una soluzione nutritiva
D	Densità specifica
DA	Densità apparente del substrato
D_{CON}	Densità dei contenitori (n° contenitori/m^2)
DP	Densità media delle particelle di un substrato
EI	Efficienza del metodo irriguo
ET	Volume di acqua evapotraspirata dalla coltura
ET_0	Evapotraspirazione potenziale di riferimento
ET_U	Coefficiente di uniformità di evapotraspirazione della coltura
F	Coefficiente di variazione di umidità nel substrato tra una irrigazione e la successiva

L'estratto contiene pagine non in sequenza

F_C	Fattore di correzione per i macronutrienti presenti nella soluzione drenata in base alla CE_{SDC}
FDR	*Frequency Domain Reflectometry* (metodo su cui si basa il funzionamento dei sensori dielettrici)
f_{SS}	Fattore di diluzione delle soluzioni *stock*
G	Flusso di calore del suolo
GDD	Gradi giorno cumulati (sommatoria termica delle temperature dell'aria in un determinato periodo al netto della temperatura di base o zero di vegetazione della coltura)
H	Altezza piante
HA	meq/L di acido da aggiungere alla soluzione nutritiva per ottenere il pH desiderato
I_n	Coefficiente di efficienza irrigua
I_U	Coefficiente di uniformità di irrigazione
k	Coefficiente di estinzione della luce
K_c	Coefficiente colturale (metodo FAO)
K_S	Coefficiente di sicurezza per l'irrigazione
LAI	Indice di are fogliare (*Leaf Area Index*)
LF	Frazione di lisciviazione (*leaching fraction*) derivata dal rapporto tra volume di acqua drenato dal sistema di coltivazione e volume irriguo erogato alla coltura
LMI	Limite minimo inferiore di concentrazione di un dato nutriente nella SD_{ST}
LMS	Limite ottimale massimo di concentrazione di un dato nutriente nella SD_{ST}
LOI	Limite ottimale inferiore di concentrazione di un dato nutriente nella SD_{ST}
LOS	Limite ottimale massimo di concentrazione di un dato nutriente nella SD_{ST}
NI	Numero di gocciolatori
N_I	Numero di interventi irrigui nell'unità di tempo
PAR	Radiazione fotosinteticamente attiva
PE	Peso Equivanente (g/equivalente)
PID	Sistemi di controllo proporzionale-integrale-derivativo
PM	Penman-Monteith
PM_X	Peso molecolare dell'elemento X nel calcolo di una soluzione nutritiva
PM_Y	Peso molecolare del contro-ione Y presente nel sale utilizzato per il bilanciamento dell'elemento X nel calcolo di una soluzione nutritiva
PSC	Sistema pianta-substrato-contenitore
PSC_{CI}	Peso del PSC a capacità idrica di contenitore
$PSC_{CI\,i}$	Peso del PSC alla capacità di contenitore al momento prima dell'irrigazione
PT	Porosità totale del substrato
Q_A	Quantità di acido commerciale (mL/L) da aggiungere all'acqua irrigua per neutralizzare i bicarbonati e ottenere un determinato pH dell'acqua irrigua o della soluzione nutritiva
Q_i	Portata di un gocciolatore
Q_T; Q_{T-1}	Quantità di nutriente o non nutriente presenti nella zona radicale al tempo *T* e a quello *T-1*
Q_X	Quantità di concime (mg/L) da aggiungere all'acqua irrigua per bilanciare i bicarbonati e ottenere un determinato pH dell'acqua
R	Radiazione globale
r_A	Resistenza aerodinamica della *canopy* al trasferimento di calore
r_c	Somma delle resistenze al flusso di vapore dalla *canopy* e dalle resistenze al flusso di vapore della superficie sui cui essa insiste
RG_{EXT}	Radiazione globale esterna
RG_{IN}	Radiazione globale interna alla serra
R_i	Radiazione intercettata dalla coltura

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Rn	Radiazione netta
SD	Soluzione drenata
SD_{AD}	Soluzione drenata recuperata, in attesa di essere disinfettata
SD_{C}	Soluzione drenata analizzata e corretta in base alla CE_{SDC}
SD_{PD}	Soluzione drenata recuperata e disinfettata
SN	Soluzione nutritiva
SN_{IN}	Soluzione nutritiva erogata
SN^{RIF}	Soluzione nutritiva di riferimento nelle colture fuori suolo a ciclo chiuso
SN_{ST}	Soluzione nutritiva erogata standard per quella data coltura da utilizzare per i calcoli della correzione della SN erogata in base alla analisi della SD
SN_{SUB}	Soluzione circolante nella zona radicale e trattenuta dal substrato
S_{PSA}	Pendenza della retta di regressione fra la produzione relativa di una coltura e la differenza fra CE_{SUB} del substrato e CE_{SUBMAX} (modello di Maas e Hoffman)
SS	Soluzione *stock* (o madre) concentrata
SUS	Sensori di umidità del substrato
T_A	Temperatura dell'aria
TDR	*Time Domain Reflectometry* (metodo su cui si basa il funzionamento dei sensori dielettrici)
T_{IR}	Durata di erogazione del volume irriguo lordo
T_{MIN}	Tempo di erogazione minimo dell'impianto di irrigazione
u	Velocità del vento
VI_L	Volume irriguo lordo
VI_{LT}	Volume irriguo lordo teorico
V_{IN}	Volume di soluzione nutritiva di rabbocco o reintegro
VI_N	Volume irriguo netto
V_{MIN}	Volume irriguo minimo erogabile dall'impianto di irrigazione
VPD	Deficit di pressione di vapore
V_R	Volume di irrigazione di reintegro
V_{SD}	Volume serbatoi(o) di soluzione drenata
V_{SN}	Volume soluzione nutritiva erogata
V_{ST}	Volume dei contenitori di soluzione *stock*
V_{SUB}	Volume di soluzione nutritiva contenuto nel substrato
V_T	Volume di SN totale presente nel ciclo chiuso, compresa quella presente nella zona radicale
X_{SD}	Concentrazione del nutriente X nella soluzione drenata
X_{SDC}	Concentrazione corretta (in base al F_C) del nutriente X nella soluzione drenata
X_{SDST}	Concentrazione del nutriente X nella soluzione drenata di riferimento
X_{SN}	Concentrazione del nutriente X nella soluzione nutritiva erogata
X_{SNC}	Concentrazione del nutriente X nella soluzione nutritiva standard dopo la sua correzione secondo il metodo De Kreij *et al.*, 1999
X_{SNST}	Concentrazione del nutriente X nella soluzione nutritiva standard

L'estratto contiene pagine non in sequenza

2 Le principali tecniche di coltivazione

Luca Incrocci

2.1 Introduzione e classificazione

Come già illustrato nel capitolo 1, le colture fuori suolo si suddividono, a seconda della presenza o meno di un mezzo solido a sostegno della radice, in **colture su substrato** e **colture idroponiche** (vedi Fig. 1.1).
Le colture fuori suolo si caratterizzano per la somministrazione di una soluzione nutritiva in quantità ben superiore a quella necessaria a bilanciare quella evapotraspirata dalla coltura, ottenendo così un percolato denominato **drenato**: se questo viene raccolto e, dopo essere stato opportunamente reintegrato, ri-somministrato alla stessa coltura si parla di **ciclo chiuso**, mentre se è utilizzato su una coltura su suolo (o peggio se è scaricato direttamente nell'ambiente, cosa che in Italia è vietata dall'attuale legislazione sulle acque di scarico, Dlg. 152/2006), si parla di **ciclo aperto**.
La presenza di un drenaggio per le coltivazioni su substrato è sempre necessaria sia per motivi tecnologici (disformità tra i punti di erogazione della soluzione nutritiva, differente sviluppo vegetativo delle piante), sia per la qualità dell'acqua irrigua (contenuto più o meno elevato in ioni essenziali e/o non essenziali rispetto alle esigenze nutrizionali della coltura, con conseguente necessità di dilavamento per evitarne l'accumulo nella zona radicale).
Nel caso del sistema a ciclo chiuso, la soluzione nutritiva prende anche il nome di **soluzione ricircolante**, proprio per il fatto che questa fa un percorso circolare, in quanto la soluzione drenata, una volta disinfettata e reintegrata (dal punto di vista idrico-nutritivo) viene risomministrata alla coltura (si vedano i capp. 6 e 8). L'uso del ciclo chiuso presuppone quindi una maggiore professionalità fra gli operatori e comporta dei maggiori costi di impianto e di gestione, che non sempre sono completamente bilanciati dai maggiori risparmi in acqua (compresi fra il 20 e il 50%) e nutrienti (variabili dal 15% fino ad oltre il 60%; vedi Scheda 2.1).

SCHEDA 2.1

VANTAGGI E SVANTAGGI DELLE COLTURE A CICLO CHIUSO E A CICLO APERTO: QUALE LA REALE CONVENIENZA PER L'AGRICOLTORE?

Due dei principali vantaggi delle colture fuori suolo sono il risparmio idrico e l'aumento dell'efficienza nell'uso dei nutrienti rispetto alle coltivazioni in terreno. Questi vantaggi però si realizzano appieno solo se si attua il **ciclo chiuso** e cioè il recupero e il riutilizzo della soluzione nutritiva drenata dalla coltura. Nelle coltivazioni su substrato è sempre necessario che alla fine dell'irrigazione si produca una certa percentuale di drenato (o frazione di lisciviazione, *Leaching Fraction*, *LF*), definita come il rapporto percentuale fra il volume di drenato prodotto (*D*) il volume irriguo applicato (*I*) nel periodo temporale considerato (un'irrigazione o un periodo di tempo con più irrigazioni.

$$LF\ \% = D / I \times 100$$

Il drenaggio nelle coltivazioni in substrato ha due fondamentali compiti:

L'estratto contiene pagine non in sequenza

SEGUE SCHEDA 2.1

a) la presenza di drenaggio fuoriuscito da tutti i contenitori è la dimostrazione che il volume irriguo è stato sufficiente a ristabilire la capacità idrica massima del sistema substrato-contenitore;
b) il drenaggio permette di asportare anche gli ioni che la pianta non ha assorbito (nutritivi e non-essenziali), evitando pericolosi innalzamenti della salinità nella zona radicale della coltura che porterebbero ad un suo drastico calo produttivo.

Nel ciclo aperto il controllo dell'irrigazione è un parametro importantissimo per evitare delle *LF* elevate, non giustificate dal contenuto di elementi non-essenziali nell'acqua irrigua. Con acque di buona qualità (*CE* < 0,75 dS/m e contenuto in sodio e cloro non superiore a 2-3 mM) la *LF* può scendere fino al 15-20%, mentre per qualità dell'acqua mediocri, detto valore oscilla fra il 20 e il 40%.
I principali vantaggi del ciclo aperto, adottato dalla maggior parte degli agricoltori nel bacino del Mediterraneo, sono la facilità della gestione della soluzione nutritiva, il minor costo dell'impianto, una forte profilassi contro la diffusione delle malattie fungine radicali. Il principale svantaggio è però la produzione di importanti quantità di drenaggio, che contengono ancora elevate quantità di macro e micro-nutrienti, che possono avere un forte impatto sull'inquinamento dell'ambiente e costituiscono una perdita di elementi nutritivi con un importante costo economico per il coltivatore.
Ma perché allora il ciclo chiuso viene utilizzato, nel bacino del Mediterraneo, su meno del 10% della superficie interessata dal fuori suolo, mentre nei Paesi Bassi è adottato su quasi la totalità di queste coltivazioni?
L'adozione del ciclo chiuso porta il vantaggio dell'incremento dell'efficienza nell'uso dell'acqua e dei fertilizzanti, ma presenta tre importanti svantaggi: 1) un maggiore costo iniziale per la maggiore complessità dell'impianto di fertirrigazione che deve raccogliere, filtrare e disinfettare il drenato raccolto; 2) la necessità di una maggiore professionalità dell'operatore e maggiori costi di gestione per il controllo del rifornimento minerale della coltura; 3) maggiori costi di gestione per la necessità di adottare misure di prevenzione (ad esempio la disinfezione della soluzione nutritiva) per impedire il possibile diffondersi di malattie fungine radicali (*soil-borne diseases*). Gli ultimi due aspetti negativi del ciclo chiuso, sono quelli che più spaventano l'agricoltore e lo inducono a preferire il ciclo aperto al ciclo chiuso.
La convenienza economica per l'agricoltore a utilizzare il ciclo chiuso rispetto al ciclo aperto è stata studiata nel 2010 dai ricercatori dell'Università di Pisa su una coltivazione commerciale di pomodoro fuori suolo in Toscana, nell'ambito del progetto europeo EUPHOROS ("*Efficient use of input in protected horticulture*"). Il pomodoro è stato coltivato su lastre di lana di roccia in due cicli, uno primaverile (da metà febbraio a metà luglio) e uno estivo-autunnale (dai primi di agosto a metà dicembre), utilizzando una cultivar di pomodoro insalataro innestato. Nel sistema a ciclo aperto, la coltura era fertirrigata secondo il protocollo dell'agricoltore, comunque assai attento nella gestione idrica come dimostra la bassa frazione di lisciviazione (Tab. S2.1.1).
Nel sistema a ciclo chiuso, applicato su un settore irriguo separato dal resto della serra, si applicava una soluzione nutritiva leggermente differente da quella dell'agricoltore, principalmente per mantenere costante la concentrazione dei nutrienti nella zona radicale. La soluzione ricircolante era poi periodicamente analizzata con un riflettometro portatile per N, P e K, per avere indicazioni su come aggiustare la soluzione nutritiva di reintegrazione.
La soluzione ricircolante nel sistema chiuso non è mai stata scaricata grazie alla bassa concentrazione di NaCl nell'acqua irrigua (media annuale di 2,5 mM), che ha impedito

L'estratto contiene pagine non in sequenza

SEGUE SCHEDA 2.1

un eccessivo suo accumulo nella zona radicale. La qualità dei frutti e la produzione commerciale è stata simile nei due sistemi, ma l'applicazione del ciclo chiuso ha permesso un risparmio di nutrienti compreso fra il 17 e il 35% e un risparmio idrico del 20%. L'analisi economica dei costi ha evidenziato che, in questo specifico caso, a causa della bassa *LF* adottata nel ciclo aperto, l'aumento dei costi dovuti all'applicazione del ciclo chiuso (impianto, analisi ecc.,) è simile ai maggiori costi per l'acquisto della maggiore quantità di fertilizzanti e dell'acqua necessari nel ciclo aperto. In questo caso, l'agricoltore ha una minima convenienza a passare al ciclo chiuso, considerando anche il maggiore rischio fitopatologico e nutrizionale legato all'adozione di questo ultimo. In questo specifico caso l'investimento più remunerativo per l'agricoltore è invece quello di continuare ad utilizzare il ciclo aperto e investire in sistemi automatizzati che permettano di gestire più precisamente la *LF*, abbassandola al minimo indispensabile per non avere accumulo di salinità nella zona radicale. Nei Paesi Bassi il ciclo chiuso è così largamente applicato perché è imposto dalla severa legislazione olandese, volta a preservare il più possibile l'ambiente. All'aumentare della quantità di sodio e cloro nell'acqua è necessario aumentare la LF: superando la soglia del 20% di *LF*, il ciclo chiuso diventa tanto più economicamente conveniente quanto peggiore è la qualità dell'acqua.

Tabella S2.1.1 - Risultati produttivi e bilancio idrico-nutritivo di una coltivazione annuale (due cicli produttivi) di pomodoro fuori suolo su lana di roccia, condotta a ciclo chiuso e ciclo aperto.

Parametro	Unità	Ciclo aperto	Ciclo chiuso	Risparmio
Produzione e qualità				
Produzione commerciale	kg m^{-2}	19,9 a	19,6 a	-
Totale solidi solubili	°Brix	4,4 a	4,5 a	-
Bilancio idrico				
Fornito	m^3 ha^{-1}	8632 a	6831 b	21%
Lisciviato	m^3 ha^{-1}	1682 a	0 b	100%
Assorbito dalla coltura	m^3 ha^{-1}	6950 a	6831 a	2%
Bilancio dell'azoto				
Fornito	kg ha^{-1}	1591 a	1032 b	35%
Lisciviato	kg ha^{-1}	266 a	0 b	100%
Assorbito dalla coltura	kg ha^{-1}	1325 a	1032 b	22%
Bilancio del fosforo				
Fornito	kg ha^{-1}	306 a	244 b	20%
Lisciviato	kg ha^{-1}	25 a	0 b	100%
Assorbito dalla coltura	kg ha^{-1}	281 a	244 b	13%
Bilancio del potassio				
Fornito	kg ha^{-1}	2422 a	2000 b	17%
Lisciviato	kg ha^{-1}	343 a	0 b	100%
Assorbito dalla coltura	kg ha^{-1}	2079 a	2000 b	4%

[1]Coltura condotta presso una serra commerciale in Toscana nel 2010. Per ogni parametro a lettera differente corrisponde una differenza statisticamente significativa ($P<0,05$) (Riadattato da Incrocci *et al.*, 2010).

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Come vedremo nei successivi paragrafi, le colture idroponiche si caratterizzano per essere quasi sempre dei sistemi a ciclo chiuso, mentre le colture fuori suolo su substrato possono essere sia a ciclo aperto, sia a ciclo chiuso. Qui di seguito si illustreranno le principali tecniche di coltivazione idroponica e su substrato.

2.2 Le principali tecniche di coltivazione idroponica

Le coltivazioni fuori suolo idroponiche comprendono i seguenti sistemi di coltivazione: *Deep Water Culture* (sistema di Gericke), la *Deep Recirculating Water Culture*, il *floating system* e le sue varianti, il *Nutrient Film Technique* (NFT) e sue varianti ed infine l'aeroponica.

2.2.1 Deep Water Culture e Deep Recirculating Water Culture

Il *Deep Water Culture*, ideata da Gericke (1929, 1938), è stata la prima tecnica idroponica fuori suolo a diffusione commerciale: il sistema era costituito da vasche contenenti una soluzione nutritiva statica, sulle quali era appoggiata della rete a maglia fine ricoperta con tela che serviva a sostenere un sottile strato di sabbia (circa 1 cm) dove erano trapiantate le giovani piantine (Fig. 2.1).
Il principale difetto di questo sistema era la facilità con cui si verificavano condizioni di ipossia (scarsità di ossigeno) radicale a causa della limitata superficie di scambio aria-acqua rispetto al volume della soluzione e al basso coefficiente di diffusione dell'ossigeno nell'acqua, condizione che si aggrava quando la temperatura della soluzione nutritiva supera i 30 °C (vedi Scheda 2.2).
Per favorire una migliore ossigenazione della soluzione nutritiva, negli anni sono stati sviluppati varianti del sistema di Gericke - alcuni dei quali prevedevano il rimescolamento della soluzione nutritiva (*Deep Recirculating Water Culture*) -che si possono suddividere in tre gruppi:

1. **sistemi con insufflazione forzata di aria**, dove l'aria è insufflata nella soluzione nutritiva con un compressore (per piccoli impianti o con una soffiante (speciali pompe per l'aria a forma di centrifughe, più adatti per impianti di dimensioni maggiori), collegati semplici tubi per l'irrigazione, mantenuti sul fondo della vasca con dei pesi oppure grazie ad appositi diffusori (Fig. 2.2A);
2. **sistemi con ricircolo e arieggiamento della soluzione nutritiva**, comprendente il sistema *M System* (Fig. 2.2B) il *Overflow System,* (Fig. 2.2C);
3. **sistemi in cui l'apparato radicale è esposto in parte o totalmente all'aria**, come nel sistema *Kyowa System* (Fig. 2.2D) dove vi è un'intercapedine d'aria di 4-5 cm fra il colletto della pianta e il livello della soluzione nutritiva e nel **g** (Fig. 2.2E), dove l'intero apparato radicale e ciclicamente esposto all'aria.

Sempre nella terza categoria, può essere anche classificato il sistema *Ein Gedi System*, sviluppato in Israele agli inizi degli anni '80 per superare i problemi di ipossia ricorrenti nei climi caldi e aridi. Il sistema si compone di una canaletta, in cui vi è un livello variabile di soluzione nutritiva a seconda dello stadio di sviluppo radicale, e di una pompa che ad intermittenza, provvede a nebulizzare finemente

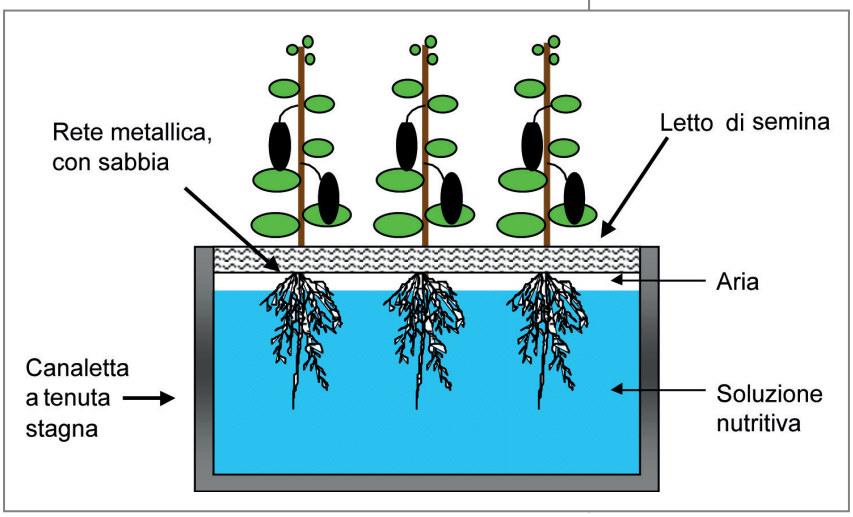


Figura 2.1 - Il primo sistema commerciale di coltura idroponica, ideato da Gericke nel 1929. Il sistema era costituito da una canaletta di legno o cemento impermeabilizzata con catrame contenente una soluzione nutritiva stagnante di circa 15 cm di spessore, in cui erano immerse le radici delle piante, sostenute da una rete metallica, ancorata alle pareti della canaletta, su cui era disposto circa 1 cm di sabbia.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

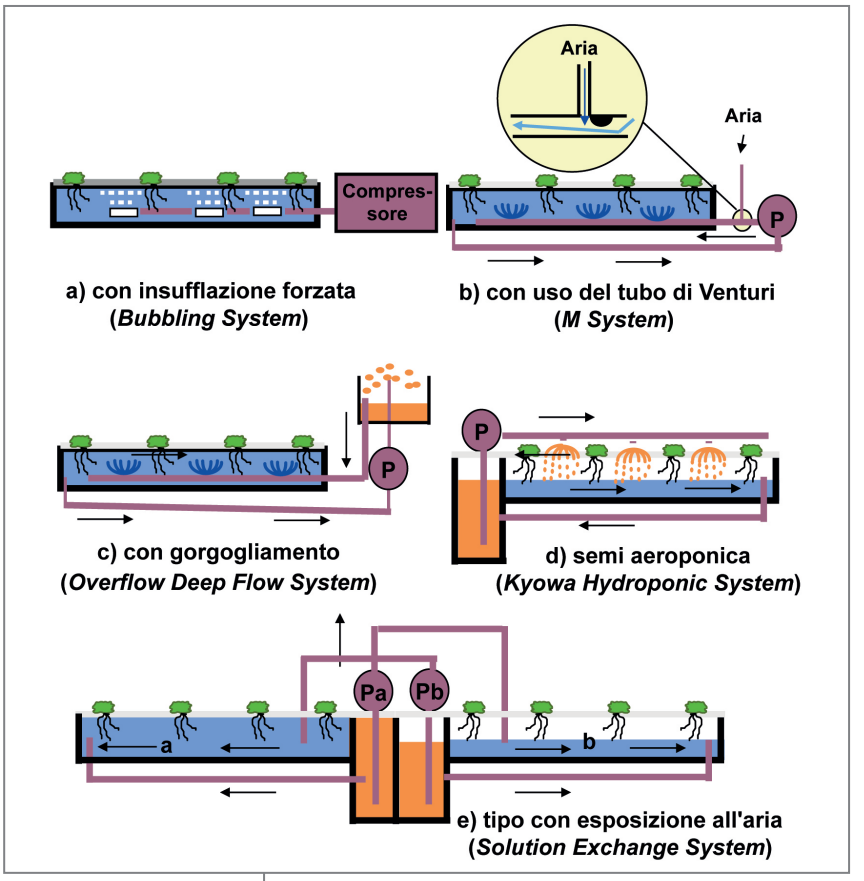


Figura 2.2 - Vari sistemi di coltura in mezzo liquido ricircolante per superare il problema dell'ipossia radicale. Il sistema più semplice è quello di insufflare aria direttamente nella soluzione nutritiva tramite un compressore e dei diffusori (A), oppure attraverso dei tubi di Venturi (B; *M system*). Nel sistema con gorgogliamento, l'arieggiamento è invece fatto in un recipiente a parte, dove la soluzione nutritiva viene nebulizzata per aumentare il contatto fra l'aria e l'acqua, per poi ritornare per caduta nella vasca (C). Nel *Kyowa Hydroponic System* (D) vi è un'intercapedine d'aria fra il colletto della radice e la superficie della soluzione nutritiva: l'ossigenazione è fatta pompando questa sulle radici della pianta, solo parzialmente immerse nella soluzione nutritiva. Altra soluzione è l'alternanza di sommersione/parziale esposizione all'aria dell'apparato radicale, grazie ad una pompa che sposta ciclicamente il volume di soluzione nutritiva da una vasca all'altra dell'impianto (E).

la soluzione nutritiva nella parte alta dell'apparato radicale per mantenerlo bagnato e favorire una spinta aereazione della soluzione nutritiva: il sistema è quindi un ibrido fra un *Deep Recirculating Water Culture* e un sistema aeroponico e per questo è stato definito anche **aero-idroponica** (Soffer e Levinger, 1980; Soffer, 1984; 1986; Raviv M., Lieth J.H, 2008). Fra tutti i sistemi sopra citati, il *M System* e il *Solution Exchange System* per la produzione di ortaggi da foglia e il *Kyowa System* per la produzione di ortaggi da frutto sono quelli che hanno avuto più diffusione commerciale, specie in Giappone, dove nel 1984 ne esistevano circa 500 ha (FAO, 1990) pari ad un terzo della superficie totale delle colture fuori suolo presenti nel paese (Prof. Y. Shinohara, Chiba University, comunicazione personale). *Ein Gedi system* si è diffuso soprattutto in Israele per la coltivazione sia di ortaggi da frutto che da foglia.

2.2.2 Floating system o idroponica galleggiante

Il *floating system* (dall'inglese *to float* = galleggiare) o aeroponica galleggiante fu ideato e descritto per la prima volta dal Prof. Franco Massantini (Università di Pisa) nel 1976 per la coltivazione di lattuga, cardo e fragola, mentre il primo impianto commerciale fu costruito in Arizona (Stati Uniti) nel 1982, interessando circa 0,5 ha di serra (Jensen e Collins, 1985).

Il sistema si compone di una vasca contenente una soluzione nutritiva per 10-30 cm, su cui galleggiano dei vassoi di polistirolo o altri materiali ultra-leggeri, contenenti le piante con una piccola quantità di substrato (necessario alla germinazione e al sostegno delle giovani plantule prima di essere trasferite nella coltivazione in vasca).

Il *floating system*, come i sistemi *Deep Water Culture*, sono caratterizzati da un elevato volume idrico e nutritivo (circa 150-200 litri per m^2) che riduce le escursioni termiche a livello radicale e consente di ridurre la frequenza del controllo e della reintegrazione della soluzione nutritiva.

L'estrema semplicità costruttiva e la sua semplicità di gestione sono i motivi della notevole espansione commerciale del *floating system* in Italia per la coltivazione di specie a ciclo breve, come ad esempio insalate da cespo (Fig. 2.3) o da taglio, rucola, vale-

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Figura 2.3 - Coltivazione in *floating system* di insalata a cespo.

rianella ed erbe aromatiche (basilico, menta, timo ecc., Fig. 2.4).
Le vasche possono essere costruite semplicemente usando dei pannelli di polistirolo per le pareti, sostenuti grazie a dei paletti conficcati nel terreno collegati fra loro con fili di plastica o ferro. Sul fondo della vasca si mettono vassoi di polistirolo di varia larghezza, per evitare forature accidentali del film plastico che viene steso e modellato sulle pareti della vasca per contenere la soluzione nutritiva (Fig. 2.5).
Il *floating system* permette di ottenere produzioni di sostanza fresca più elevate rispetto alla coltivazione in suolo, grazie alla pronta disponibilità di acqua e nutrienti che la coltura trova nella soluzione nutritiva fin nei primi stadi: ad esempio Incrocci *et al.* (2001) riporta una produzione in *floating system* per rucola e basilico da 2 a 5 volte superiore alla produzione ottenuta in suolo, a parità di giorni di coltivazione. Tuttavia in questo sistema è importantissimo il controllo dell'ipossia radicale che può portare alla morte di parte dell'apparato radicale, con blocchi nella crescita e diffusi ingiallimenti, fino alla morte delle piante (Scheda 2.2). Altri importanti aspetti negativi sono il facile sviluppo di alghe, come nel caso in cui la soluzione nutritiva non sia schermata dalla luce (Fig. 2.6) e l'eccessiva umidità, che in col-

Figura 2.4 - Coltivazione in *floating system* di basilico. Si noti nelle vasche la scalarità della produzione.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

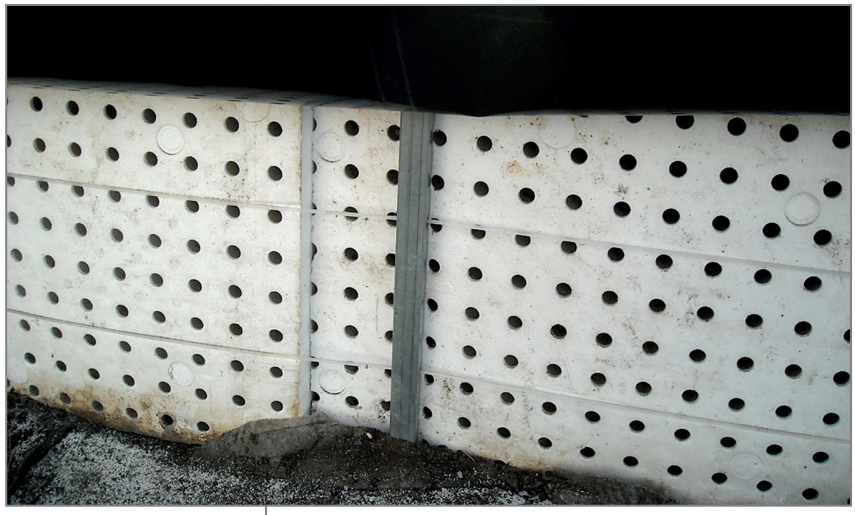


Figura 2.5 - Economico sistema per la costruzione delle vasche per il *floating system*. La parete è stata costruita con pannelli di polistirolo di recupero, tenuti in posizione da paletti conficcati nel terreno e collegati con un filo di plastica o di ferro, impermeabilizzando la vasca grazie ad uno spesso telo di plastica.

Figura 2.6 - Coltivazione di basilico in floating system appena trapiantato. La plantula è stata ottenuta in cubetto di torba pressata e appoggiata sul pannello flottante. Il pannello utilizzato da 100 fori/m^2 permette di ospitare colture con diverse densità, ma al tempo stesso, quando non tutti i fori sono utilizzati, come in questo caso, favorisce il rapido sviluppo di alghe nella soluzione nutritiva e crea un microclima molto umido, favorendo l'attacco di malattie fungine.

IL FENOMENO DELL'IPOSSIA RADICALE NELLA COLTURA IDROPONICA

SCHEDA 2.2

L'ipossia radicale avviene quando la concentrazione di ossigeno intorno alla radice scende sotto livelli minimi, tali che la radice non ha più sufficiente quantità di ossigeno per svolgere le proprie funzioni cellulari; nel caso in cui la concentrazione dell'ossigeno sia prossima a zero si parla di anossia.
Quando una radice è immersa nell'acqua, come nella coltura idroponica, la condizione di ipossia si può verificare per due cause:

1. la **diffusione dell'ossigeno** (ma anche dei gas "di scarto" come ad esempio l'anidride carbonica e l'etilene) è circa 10.000 volte più lenta nell'acqua rispetto all'aria (Tab. S2.2.1);
2. la **minore concentrazione di ossigeno** che può essere presente in una soluzione acquosa rispetto all'aria. Infatti l'ossigeno è un gas e in un liquido può essere presente come gas disciolto.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

SEGUE SCHEDA 2.2

La quantità massima di gas disciolto in un liquido è molto inferiore a quello che può essere presente nell'aria e dipende dai seguenti fattori:

- diminuisce all'aumentare della **temperatura del liquido** (Tab. S2.2.2);
- tende a ridursi con l'aumentare della **salinità** o del contenuto in osmoliti;
- tende a ridursi con il ridursi della **pressione atmosferica**.

Tabella S2.2.1 - Coefficienti di diffusione per l'ossigeno, l'anidride carbonica e l'etilene in acqua e in aria a 20°C (Da Jackson, 1980).

GAS	O_2 Diffusione nell'aria ($cm^2\ s^{-1}$)	O_2 Diffusione nell'acqua ($cm^2\ s^{-1}$)
Ossigeno	$2{,}14\ 10^{-1}$	$2{,}22\ 10^{-5}$
Anidride Carbonica	$1{,}81\ 10^{-1}$	$1{,}50\ 10^{-5}$
Etilene	$1{,}50\ 10^{-1}$	$1{,}68\ 10^{-5}$

Tabella S2.2.2 - Concentrazione massima (mg/L) di ossigeno a saturazione con gorgogliamento di aria in acqua e consumo di ossigeno medio del tessuto radicale in funzione della sua temperatura.

Temperatura della soluzione nutritiva (°C)	O_2 disciolto a saturazione con gorgogliamento di aria($mg\ L^{-1}$)	Consumo O_2 tessuto radicale ($mg\ gr^{-1}\ h^{-1}$)
10	10,93	0,23
20	8,84	0,46
30	7,53	0,92

In condizioni di elevata temperatura, il contenuto di ossigeno disciolto nella soluzione nutritiva ben aerata tende a diminuire, mentre il consumo di ossigeno da parte della radice raddoppia, ad ogni incremento di 10 °C. Ciò unito al fatto che l'ossigeno si diffonde lentamente, crea una situazione di ipossia, che è tanto più grave quanto maggiore è il diametro delle radici. Infatti le radici di piccolo diametro hanno un più basso rapporto volume/superficie, che favorisce il rifornimento di ossigeno dalla superficie esterna verso i tessuti più interni della radice (Fig. S2.2.1). Ciò spiega perché le specie/varietà con apparato radicale fittonante e le colture a ciclo lungo (come ad esempio gli ortaggi da frutto, quindi con radici di

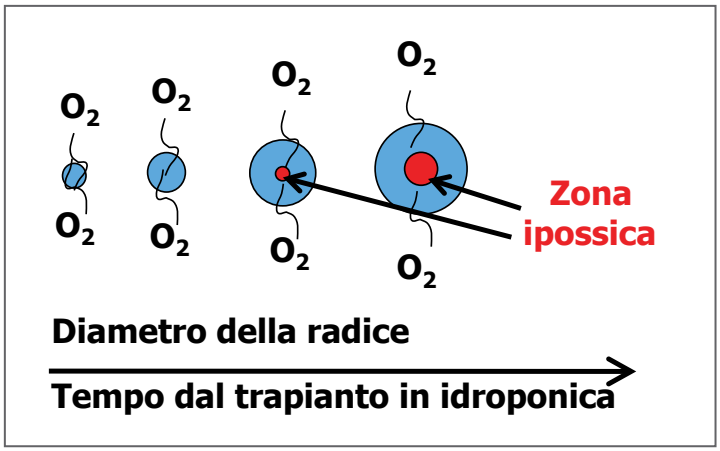


Figura S2.2.1 - Influenza del diametro della radice sul possibile sviluppo di fenomeni di ipossia radicale.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

SEGUE SCHEDA 2.2

diametro maggiore) vanno incontro più facilmente a ipossia radicale rispetto a quelle con apparato fascicolato o con cicli colturali brevi. Questo particolare dovrebbe essere tenuto in debito conto dai *breeders* per la selezione di varietà maggiormente adatte alla coltivazione in idroponica, caratterizzate da apparati radicali prevalentemente fascicolati. Prove effettuate presso l'Università di Pisa hanno dimostrato che concentrazioni di ossigeno disciolto inferiori a 3,5-4,0 mg/L possono facilmente creare fenomeni di ipossia nelle piante coltivate in idroponica, soprattutto in condizioni di elevate temperature in serra. I sintomi sono un progressivo imbrunimento delle radici, accompagnati da ingiallimenti fogliari; successivamente si ha la morte delle radici con il conseguente collasso della parte aerea (Fig. S2.2.2).

Figura S2.2.2 - A sinistra. coltura di rucola in floating system con ingiallimenti fogliari dovuti a ipossia radicale, dopo 5 gg di trattamento (O_2 disciolto 3 mg/L). A destra: radice di pomodoro in NFT, morta in seguito a ipossia radicale (O_2 disciolto 2,5 mg/L).

ture molto fitte (ad esempio il lattughino da taglio o il basilico) può favorire lo sviluppo di sciaridi e malattie fungine.

2.2.2.1 Dry hydroponics®

Nel *floating system* tradizionale, il substrato utilizzato per la germinazione dei semi, essendo in contatto con la soluzione nutritiva, è costantemente bagnato e può creare problemi di ipossia radicale nella zona del colletto della pianta, soprattutto nella fase vicino alla raccolta, quando il peso della produzione tende a far affondare maggiormente il pannello nella soluzione nutritiva. Per evitare questo inconveniente e per meccanizzare le operazioni di raccolta e di trapianto, è stato sviluppato e brevettato il sistema *Dry hydroponics®*, caratterizzato da uno speciale pannello flottante in cui vi è una camera d'aria sottostante ad ogni piantina evitando così il diretto contatto di questa con la soluzione nutritiva (Fig. 2.7). Nei primi giorni dopo il trapianto, in attesa che la radichetta arrivi ad immergersi nella soluzione nutritiva, è necessario effettuare alcune irrigazioni a pioggia soprachioma, per evitare la disidratazione delle piantine. Completano il sistema alcune macchine agevolatrici per il trapianto e la raccolta del prodotto. Il sistema, seppur migliorato rispetto ad un tradizionale *floating system*, in condizioni di elevate temperature e con specie aventi importanti apparati radicali fittonanti può comunque manifestare lievi sintomi di asfissia radicale.

2.2.3 Nutrient Film Technique (NFT)

Il *Nutrient Film Technique* (NFT) è stato ideato nel 1965 da Allen Cooper a Littlehampton in Inghilterra (Cooper, 1979). Il sistema si compone di una serie di canalette in pendenza (1,5-2,5%) nelle quali si sviluppano le radici delle piante e in cui scorre conti-

L'estratto contiene pagine non in sequenza

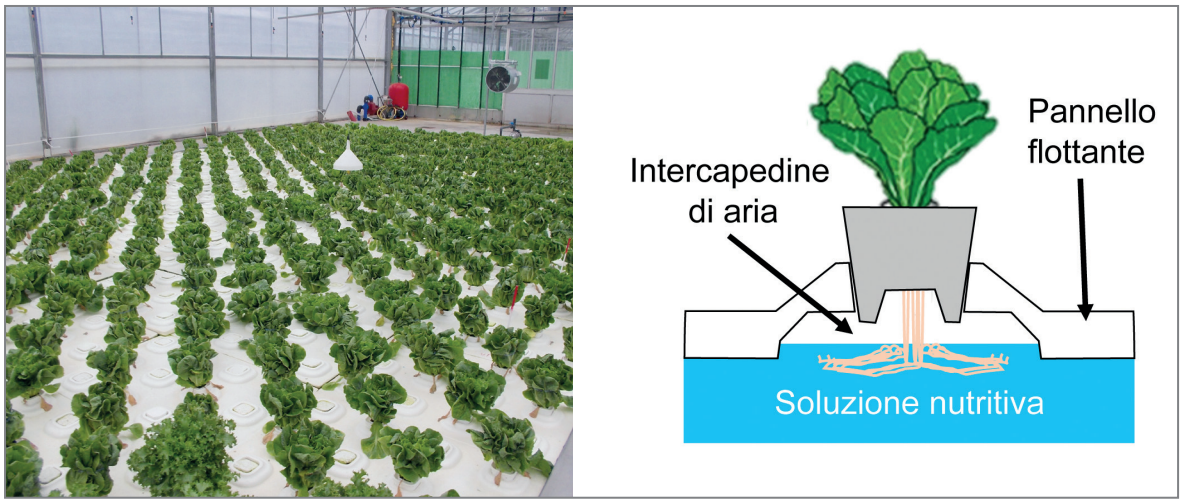


Figura 2.7 - A sinistra: coltivazione di insalata, indivia e scarola nel sistema Dry Hydroponics®. A destra: sezione trasversale del sistema, caratterizzata dalla presenza di una camera di aria sotto la pianta, per aumentare l'aereazione della radice e impedire che il substrato attorno alla radice si imbeva di soluzione nutritiva.

nuamente una soluzione nutritiva (con un flusso di 1-3 L/min e uno spessore 1 cm, da cui il nome "film nutritivo"). La soluzione si raccoglie alla fine della canaletta in un contenitore (*mixing tank*): qui una pompa provvede a riportarla all'inizio delle canalette (Fig. 2.8; Fig. 2.9).

I principali **vantaggi** di questa tecnica sono:

- l'assenza di substrato, con conseguente risparmio dei costi di acquisto e di smaltimento;
- la facilità con cui si può ripartire con un nuovo ciclo colturale: basta eliminare la vecchia coltura, pulire l'impianto e disinfettarlo per qualche ora con un potente ossidante (ad esempio una soluzione di ipoclorito di sodio o acqua ossigenata);
- il facile controllo della nutrizione minerale.

La tecnica ha comunque anche degli importanti **svantaggi**, che fino ad oggi ne hanno ostacolato un utilizzo in larga scala commerciale:

- vulnerabilità ad eventuali *black out* elettrici o rotture dello impianto che, interrompendo il flusso della soluzione nutritiva, farebbero disidratare dopo poche ore le radici, causando la morte la coltura;
- minore *buffer* idrico-nutritivo (15-30 litri/m^2) rispetto a altri sistemi idroponici come il *floating system* (150-250 litri/m^2);
- bassa inerzia termica, si tende facilmente a mettere in equilibrio con la temperatura dell'aria della serra, con forte escursione termica diurna;
- impossibilità ad usare canalette con lunghezza superiore ai 6-8 metri non solo per l'eccesso disli-

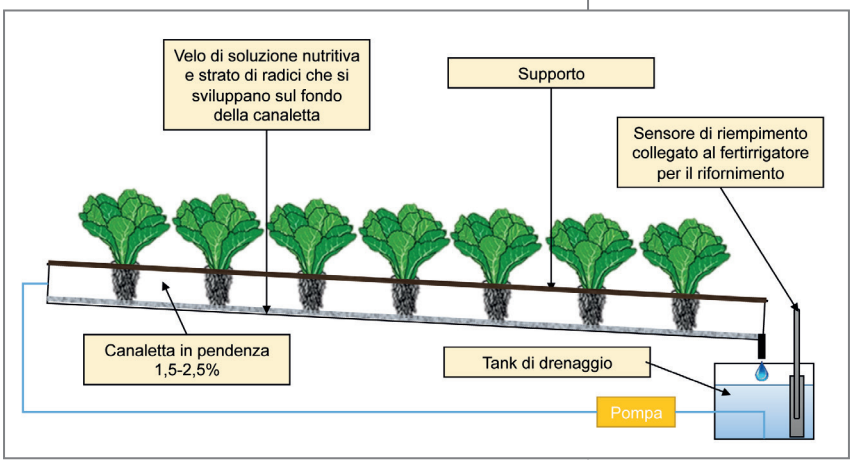


Figura 2.8 - Schema di un impianto di *Nutrient Film Technique*. La soluzione dal contenitore di drenaggio (*mixing tank*), tramite una pompa viene portata in cima alla canaletta, dove poi si muove, grazie alla pendenza di questa, verso la fine bagnando le radici della coltura, ritornando nel contenitore di drenaggio.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Figura 2.9 - Pomodoro tipo ciliegino, coltivato in *Nutrient Film Technique*.

vello necessario, ma per l'incapacità del flusso della soluzione nutritiva di avere sufficiente ossigeno per rifornire tutte le piante della canaletta, specialmente in climi caldi;
- eccessiva crescita delle radici, specie per le specie a ciclo lungo, che rallentando il flusso della soluzione nutritiva e quindi il trasporto di ossigeno alle radici, creano problemi di ipossia radicale.

2.2.3.1 Super Nutrient Film Technique® e New Growing System®

Il sistema originario di Cooper è stato modificato da vari ricercatori per cercare di superare i problemi dell'ipossia radicale e dell'eccessiva crescita radicale.
Fra le numerose modifiche vale la pena di descriverne due che hanno incontrato, più delle altre, un certo successo commerciale: il *Super Nutrient Film Technique* (SNFT®) e il *New Growing System®* (NGS).
Il SNFT® è stato ideato negli anni '90 e si caratterizza per l'erogazione della soluzione nutritiva lungo tutta la lunghezza della canaletta, in prossimità delle piante, in modo che ognuna di queste abbia una soluzione fresca e ben ossigenata. La soluzione nutritiva scorre sia nel senso longitudinale che trasversale della canaletta, raccogliendosi in apposite scanalature poste ai lati della canaletta stessa, che la riportano direttamente nel contenitore di drenaggio. Questa modifica ha permesso di allungare le canalette fino a circa 12 metri.
Il NGS® ha una canaletta in film plastico al cui interno ci sono 3 diversi piani, comunicanti fra loro con frequenti aperture sul fondo, che permettono alle radici e alla soluzione nutritiva di cambiare facilmente piano: l'apparato radicale viene così dislocato su tre piani, ritardando il rallentamento del flusso della soluzione nutritiva, responsabile di ipossia radicale (Fig. 2.10).

2.2.4 Aeroponica

Il sistema fu descritto per la prima volta nel 1973 dal prof. Massantini, con lo scopo di risolvere il problema dell'ipossia nelle colture idroponiche e successivamente perfezionato in Arizona (U.S.A., Jensen and Collins, 1985). Il sistema si compone di una canaletta stagna, all'interno della quale corre una tubazione con ugelli capaci di nebulizzare la soluzione nutritiva sulle radici delle piante. Il sistema è intermittente, con tempi di funzionamento da 15 a 40 secondi e pause da 3 a 30 minuti a seconda delle condizioni evapotraspirative dell'ambiente e della dimensione della coltivazione. A copertura della canaletta vi sono dei pannelli piani oppure a "tetto" (denominato A-*system*), ideati per aumentare la densità colturale degli ortaggi da foglia (occorre precisare che in questo sistema si notano però delle disformità fra le piante cresciute sulle due falde del pannello).
Il sistema presenta i seguenti **vantaggi**:

- assenza del substrato, con risparmio dei costi di acquisto e del suo smaltimento;
- assenza di ipossia radicale anche in condizione di elevate temperature; tuttavia, nel caso di cicli superiori a 4-5 mesi e con canalette poco profon-

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Figura 2.10 - A sinistra: pomodoro a ciclo lungo coltivato con il sistema *New Growing System*® (NGS); (foto: Silvana Nicola, Università degli Studi di Torino). A destra: schema costruttivo del NGS®. Su due supporti in ferro in alto sono collegati tre strati di plastica, uno all'interno all'altro, che formano tre piani paralleli sui quali può scorrere la soluzione nutritiva e sviluppare le radici.

de, si crea, anche in questa tecnica, un tappetino di radici sul fondo che può ostacola il corretto defluire della soluzione nutritiva nebulizzata, causando, in condizioni di elevata temperatura, possibili fenomeni di ipossia radicale;
- ridotto volume di soluzione in circolo, che permette di avere un ridotto peso della struttura, che risulta ottimale per le applicazioni di *vertical farm* oppure in basi di ricerca in ambienti remoti (ad esempio nell'Antartide o nello spazio);
- per alcune specie, nell'aeroponica si osserva una crescita più veloce rispetto agli altri sistemi idroponici (Fig. 2.11).

Gli **svantaggi** principali di questa tecnica sono gli stessi già esposti per lo NFT: costo elevato dell'impianto, vulnerabilità del sistema ai *black out* elettrici e malfunzionamenti dell'impianto, elevato consumo di energia elettrica per la movimentazione della soluzione nutritiva. Tuttavia quest'ultima voce può essere in parte ridotta, con un sistema più preciso nella distribuzione della soluzione nutritiva, che tenga conto delle condizioni evapotraspirative dell'ambiente e dello stadio di sviluppo della coltura.

Figura 2.11 - Impianto di basilico in aeroponica su bancali mobili, realizzato nell'azienda PARVUS FLOS a Radicondoli (Siena), nell'ambito del progetto INN.O (Innovazione nell'ortofrutta), cofinanziato dal PSR FEARS 2014-2020 della regione Toscana. Il basilico nella foto è pronto per la seconda raccolta, dopo 28 giorni dal trapianto (la prima è stata fatta dopo 14 gg.). La produzione annuale è stata circa di 60 kg/m^2.

2.3 Le principali tecniche di coltivazione su substrato

Le prime coltivazioni su substrato con scopi commerciali furono fatte in bancali di cemento, riempiti con sabbia, nelle stazioni sperimentali del New

L'estratto contiene pagine non in sequenza

Jersey e dell'Indiana nel 1937 (Shive e Robbins, 1937), quasi parallelamente allo sviluppo della *Deep Water Culture* di Gericke.
Dopo l'introduzione della plastica, dell'uso di substrati organici (a base di torba) e della lana di roccia - capaci di una maggiore ritenzione dell'acqua e dell'aria rispetto alla sabbia e alla ghiaia - furono eseguite molte prove e prodotti prototipi allo scopo di perfezionare la tecnica.
Le colture fuori suolo su substrato si possono classificare, in base al tipo di irrigazione, in:

- colture irrigate nella parte alta del contenitore (irrigazione a goccia o *drip irrigation*);
- colture irrigate dal basso (subirrigazione o *ebb-and-flow*).

La coltura fuori suolo in contenitore ha subito negli anni una continua evoluzione, spinta dalla necessità di ridurre i costi di impianto. Si è quindi assistito ad una riduzione del volume dei contenitori, passando dai primi costosi impianti in *banquette* realizzate in cemento (200-300 L/m^2), a canalette realizzate in polipropilene (100 L/m^2), a sacchi e vasi (15-30 L/m^2) (Fig. 2.12). Questa riduzione ha permesso un contenimento dei costi per l'acquisto del substrato e ha semplificato le operazioni di messa in posa e rimozione del substrato esausto dalla serra, riducen-

Figura 2.12 - Evoluzione dei contenitori utilizzati negli anni per la coltura fuori suolo su substrato. I primi contenitori erano dei bancali in cemento con ampi volumi di substrato (A, gerbera, su substrato a base di torba, sabbia e terra), ben presto sostituiti con delle canalette in polipropilene (B, rosa su perlite), sostituite successivamente con sacchi (C, pomodoro su lana di roccia) o vasi (D, calla su torba/pomice): in questo modo si è ottenuto un risparmio per il minor volume di substrato utilizzato, ma anche nel costo di manodopera necessario per il posizionamento e la successiva rimozione (quando è esausto) del substrato.

L'estratto contiene pagine non in sequenza

do anche i costi della manodopera necessaria per l'impianto. Nella scelta dei substrati i criteri che hanno guidato gli operatori sono stati l'economicità, la facilità di reperimento, il minore peso specifico del materiale, la possibilità di riutilizzo per più cicli dello stesso e, negli ultimi anni, sotto la spinta ambientalista, anche la rinnovabilità e la possibilità di compostaggio del substrato a fine ciclo.

2.3.1 La subirrigazione

La tecnica della coltura fuori suolo per subirrigazione o del flusso e riflusso (*Ebb-and-Flow*) consiste nel fornire la soluzione nutritiva dal basso del contenitore, attraverso periodici allagamenti, per un'altezza variabile da 1 a 4 cm a seconda dell'altezza dei contenitori, posizionati in apposite canalette, bancali, tappetini assorbenti o pavimenti impermeabilizzati. Si crea quindi, grazie all'azione della forza capillare, un flusso unidirezionale dal basso verso l'alto che trasporta i sali (nutrienti e non) in essa disciolti, i quali si tendono ad accumulare sulla superficie del substrato nella parte alta del contenitore, in seguito alla evaporazione (Fig. 2.13).
In sintesi, la tecnica fornisce i seguenti **vantaggi** (Incrocci *et al.*, 2006):

- assenza di controllo per l'irrigazione e risparmio della manodopera per l'irrigazione;
- possibilità di coltivare specie diverse e/o in contenitori di dimensioni diverse;
- possibilità di utilizzare il ciclo chiuso senza grossi pericoli, in quanto il rimescolamento fra la soluzione ricircolante e quella all'interno del vaso è molto ridotto;
- facilità nella meccanizzazione delle operazioni colturali come le spaziature (riduzione della densità colturale all'aumentare della taglia della pianta).

I principali **svantaggi** della subirrigazione sono l'elevato costo dell'impianto, l'accumulo di sali nel substrato della parte superiore del contenitore (specie se si usa acque di media-scarsa qualità), che rende difficile il riutilizzo del stesso per un successivo ciclo e infine l'impossibilità di controllare la nutrizione minerale della pianta attraverso la modifica della soluzione nutritiva somministrata.
La tecnica si è molto diffusa invece nella coltivazione di piante ornamentali in vaso fiorite, perché permette la meccanizzazione di molte operazioni colturali (Fig. 2.14). In alcune specie ornamentali si può osservare una riduzione della durata *post-harvest* delle piante, a causa dello stress salino dovuto all'accumulo di sali nella parte alta e alla loro risolubilizzazione in seguito all'irrigazione fatta dal consumatore dall'alto (Incrocci *et al.*, 2007).

2.4 Conclusioni e tendenze evolutive delle tecniche di coltivazione fuori suolo

In questo capitolo sono state illustrate le principali tecniche per la coltivazione fuori suolo, suddividendole in tecniche idroponiche e tecniche su substrato. L'assenza del substrato nelle tecniche idroponiche presenta indubbi vantaggi come ad esempio il risparmio dei costi di acquisto, messa in opera e rimozione a fine ciclo del substrato, la facilità nel controllo della nutrizione minerale, ma la sua predisposizione allo sviluppo di fenomeni di ipossia, assieme alla vulnerabilità ai *black out* elettrici e/o ai

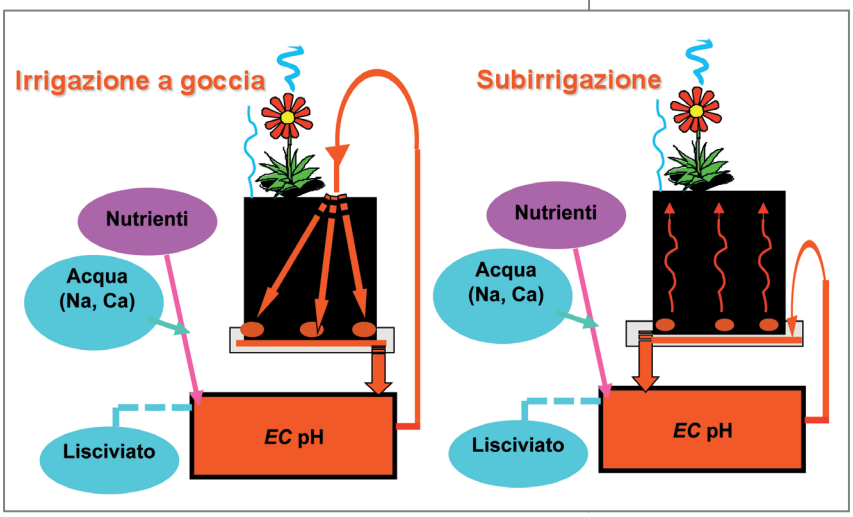
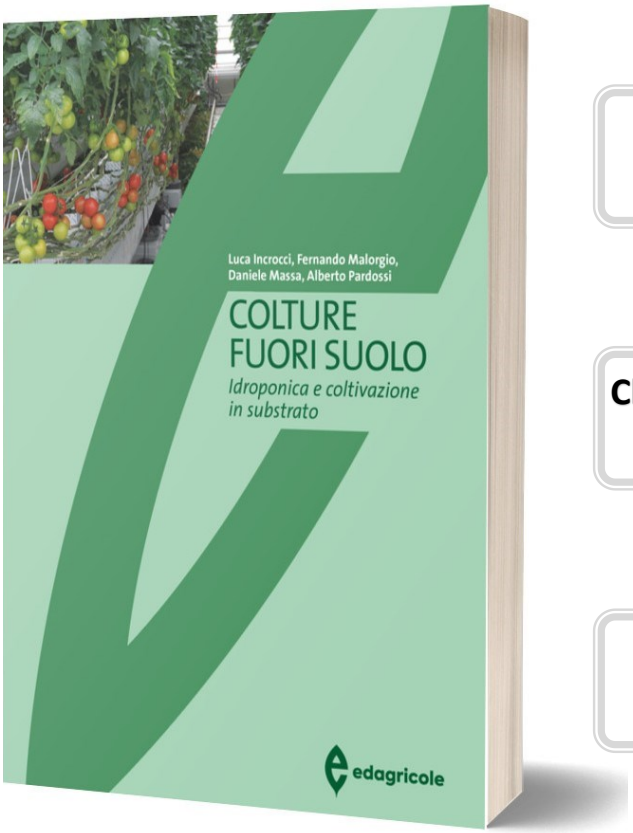


Figura 2.13 - Schema dell'irrigazione a goccia e della subirrigazione (flusso e riflusso). Nell'irrigazione a goccia (o per aspersione), l'acqua fornita nella parte alta del substrato, imbeve il substrato e l'eccesso fuoriesce dai fori di drenaggio, dilavando i sali presenti nel substrato. Nella subirrigazione, durante i periodici allagamenti, la soluzione nutritive entra dai fori di drenaggio, per poi risalire nell'interno del substrato, fino ad evaporare dalla superficie superiore. In entrambi i casi l'evapotraspirato è giornalmente reintegrato con acqua e nutrienti.

edagricole

COLTURE FUORI SUOLO



Clicca QUI per ACQUISTARE il libro ONLINE

Clicca QUI per scoprire tutti i LIBRI del catalogo EDAGRICOLE

Clicca QUI per avere maggiori INFORMAZIONI

edagricole
www.edagricole.it

gruppo tecniche nuove
www.tecnichenuove.com

Servizio clienti libri:
libri.edagricole@newbusinessmedia.it
Tel. 051.6575833