



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI AGRARIA

Dipartimento di Biotecnologie Agrarie

TESI DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI ED AMBIENTALI

*STUDIO DI PARAMETRI MORFOLOGICI E BIOCHIMICI IN PIANTE DI ABETE ROSSO
(PICEA ABIES (L.) KARST.) ALLEVATE IN TERRENO E IN AEROPONICA*

Relatore:

Prof. MARIO MALAGOLI

Laureanda:

SONIA NICOTRA

Matricola n. 588740

ANNO ACCADEMICO 2009- 2010

INDICE

INDICE	3
RIASSUNTO	5
SUMMARY	6
1. INTRODUZIONE	8
1.1 L'ABETE ROSSO.....	8
1.1.1 Aspetti biologici.....	8
1.1.2 Inquadramento ecologico.....	11
1.2 LE PECCETE.....	13
1.2.1 Pecceta subalpina.....	13
1.2.2 Pecceta montana.....	15
1.3 PRINCIPALI IMPIEGHI DELL'ABETE ROSSO.....	17
1.4 NUTRIZIONE MINERALE NELLE PIANTE.....	18
1.4.1 Macro- e micronutrienti.....	18
1.4.2 Azoto.....	19
1.4.3 Carbonio.....	21
1.4.4 Zolfo.....	21
1.4.5 I nutrienti in <i>Picea abies</i>	22
1.5 LE PRINCIPALI TECNICHE DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO.....	23
1.5.1 Definizione e classificazione.....	23
1.5.2 Un po' di storia e attuale diffusione delle colture fuori suolo.....	25
1.6 I PRINCIPALI SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO.....	29
1.6.1 Deep Water Culture e Floating System.....	29
1.6.2 Nutrient Film Technique (NFT).....	30
1.6.3 Aeroponica.....	32
1.6.4 La coltura in contenitore.....	32
1.7 I SUBSTRATI.....	35
1.7.1 Il substrato di coltivazione.....	35
1.7.2 Tipologie di substrato.....	35
1.8 SISTEMI APERTI E CHIUSI.....	40
1.9 L'AEROPONICA.....	42
1.9.1 Green Line System.....	45
1.9.2 Sistema aeroponico a canaletta.....	46
1.9.3 Le soluzioni strutturali.....	47
1.9.4 La gestione computerizzata.....	48
1.9.5 I risparmi.....	48
1.9.6 Altre tipologie di impianti aeroponici.....	50
2. SCOPO DEL LAVORO	52
3. MATERIALI E METODI	53
3.1 MATERIALE VEGETALE.....	53
3.2 SOLUZIONE NUTRITIVA, pH, TEMPERATURA.....	53
3.3 MODALITA' DI MISURAZIONE DEI GETTI.....	54
3.4 ANALISI CHIMICHE.....	58
3.4.1 Sostanza secca, sostanza organica, umidità e pH.....	58
3.4.2 Determinazione dell'azoto totale (Metodo Kjeldahl).....	59
3.4.3 Capacità di scambio cationico (metodo al bario cloruro non tamponato).....	59
3.4.4 Estrazione dei pigmenti fotosintetici.....	60
3.4.5 Analisi del contenuto di N, C e S negli aghi.....	61
3.5 SVILUPPO DI SEMENZALI DI ABETE ROSSO.....	61

4. RISULTATI	65
4.1 ANALISI DEL TERRENO.....	65
4.2 PARAMETRI MORFOLOGICI.....	66
4.2.1 Primo allevamento aeroponico.....	66
4.2.2 Secondo allevamento aeroponico.....	67
4.2.3 Piante in vaso collocate in serra.....	68
4.2.4 Piante in vaso collocate fuori dalla serra.....	68
4.2.5 Semenzali.....	69
4.3 CONTENUTO DI PIGMENTI FOGLIARI.....	69
4.3.1 Clorofille.....	69
4.3.2 Contenuto di azoto, carbonio e zolfo.....	71
5. DISCUSSIONI	74
6. CONCLUSIONI	78
7. BIBLIOGRAFIA	80

RIASSUNTO

Le “colture senza suolo” sono delle tecniche di coltivazione attuate in assenza del comune terreno agrario, nelle quali il rifornimento alle piante di acqua e di altri elementi nutritivi avviene generalmente attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva completa di macro- e micro-nutrienti.

Tra queste tecniche di coltivazione fuori suolo, l'aeroponica rappresenta la semplificazione estrema di un sistema idroponico, con assenza di substrato a livello radicale e con un minimo impiego di soluzione nutritiva. In questo sistema le radici delle piante sono sospese in un contenitore dove degli ugelli nebulizzano la soluzione nutritiva, mantenendo l'apparato radicale costantemente umido.

L'aeroponica è utilizzata nel settore ortofloricolo e consente di ottenere enormi incrementi quantitativi e qualitativi della produzione; sensibili riduzioni nell'impiego di manodopera, fertilizzanti e acqua; drastica riduzione dei consumi energetici nelle culture in serra.

Nel nostro studio si è voluto sperimentare l'impiego di questa tecnica nel settore forestale, utilizzando delle piante di abete rosso (*Picea abies* (L.) Karst) per poterne osservare la crescita nel tempo, confrontandola con quella di altre piante della stessa età ma poste in vaso, sia all'interno della serra (a parità di temperatura e umidità rispetto a quelle in aeroponica), che al di fuori.

Le prove di coltivazione realizzate utilizzando il sistema aeroponico hanno permesso di studiare le risposte di questa tipologia di crescita e di trarre delle prime conclusioni che, in futuro, potranno essere riprese e sviluppate.

SUMMARY

The soilless cultures are a technique for crop production using no soil. In this method, crops are grown in the nutrient solution or on a proper medium where crops are planted and a nutrient solution, complete with macro-and micro-nutrients, is applied. Among these techniques, aeroponics is the extreme simplification of a hydroponic system, with the absence of substrate and with a slight use of nutrient solution. In this system the plant roots are suspended in a case where the nozzles atomize the nutrient solution, keeping the root system constantly damp.

Aeroponics is used in horticulture and floriculture and allows to obtain relevant increases in quantity and quality of production, considerable reductions in the use of labour, fertilizer and water, and dramatically reducing energy consumption in the greenhouse cultures.

In the current study we wanted to test the use of this technique in the forestry sector, using plants of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) to observe their growth in times and compared it with the other plants of the same age but placed in a vase, both inside the greenhouse (at the same temperature and humidity than in aeroponics) and outside.

The tests carried out using the aeroponic system have allowed us to study the responses of this type of growth and drawn the conclusions that, in future, maybe will be taken up and developed.

1. INTRODUZIONE

Col termine fuori suolo si tende a raggruppare tutte quelle tipologie di coltivazione che, di fatto, svincolano la pianta dal terreno. Tra queste tecniche, l'aeroponica è adottata solo da alcune aziende estremamente specializzate e solo per alcune tipologie di colture, orticole e floricole. Il nostro obiettivo è stato quello di poter analizzare e verificare l'efficacia di questa tecnica al di fuori del settore ortofloricolo, utilizzando il sistema aeroponico su piante di abete rosso.

1.1 L'ABETE ROSSO

1.1.1 Aspetti biologici

Picea abies (L.) Karst (fig. 1.1) appartiene alla sezione *Picea* e sinonimo ancora molto utilizzato è *P. excelsa* Link; comunemente viene chiamato "abete rosso" o "peccio" (Gellini e Grossoni, 1996). L'abete rosso, con le popolazioni della Siberia (*Picea abies* subsp. *obovata*), è la specie forestale più importante del mondo per la vastità dell'areale, per la densità della presenza nell'areale, per il commercio del legname e per l'ampio uso in arboricoltura da legno (Bernetti, 2005).

Si tratta di alberi di grandi dimensioni che possono superare l'altezza di 50 (60) m con circonferenze di 1 (2) metri; possono vivere 400-500 anni. L'abete rosso ha un fusto dritto e slanciato, poco rastremato e indiviso; la chioma è verde intenso, ma leggermente più chiara di quella dell'abete bianco; nell'insieme la chioma ha un profilo ogivale o triangolare, con base più o meno allargata e cima sempre più o meno acuta anche nelle piante vecchie. La corteccia è sottile e di colore rossastro; nelle piante giovani si sfalda in squame membranose mentre in quelle adulte si fessura in placche di scarso spessore, più o meno rotondeggianti (i così detti "soldini") o irregolarmente quadrangolari. I rami principali sono numerosi, corti e relativamente sottili: quelli superiori sono ascendenti, quelli inferiori sono orizzontali

o discendenti; quelli mediani possono essere convessi o concavi verso il suolo o anche orizzontali (Gellini e Grossoni, 1996). Il portamento a rami secondari penduli prevale nelle popolazioni di bassa quota (peccete montane, vedi paragrafo 1.2.2) (Bernetti, 2005). I rami giovani sono piuttosto sottili, glabri o con pochi peli sparsi, di colore rosso bruno o rosso arancio; hanno andamento pendulo, orizzontale o anche eretto (fig. 1.2).



Fig. 1.1 - Esempio di *Picea excelsa*. Foto di Neil Madisen.

Le gemme sono coniche, acute, lunghe circa 6 mm, non resinose e hanno perule rosso bruno spesso riflesse all'apice.

Gli aghi persistono per diversi anni (8-10), sono lunghi 15-25 mm e hanno sezione romboidale; sono di color verde scuro lucente con 2 o 3 linee stomatifere non evidenti su ciascuna pagina. Inseriti su cuscinetti rilevati che tipicamente rimangono sul rametto dopo la caduta degli aghi, sono dritti o leggermente incurvati e brevemente mucronati; spesso sono assenti sulla parte inferiore del rametto.

I conetti maschili, inizialmente di colore rosso ma giallo rosati all'antesi, si trovano presso l'estremità dei rametti dell'anno precedente soprattutto nella parte medio-superiore della chioma; dopo l'emissione del polline si piegano verso il basso e disseccano. All'apice di rametti laterali, di solito più in alto, si trovano i conetti femminili; essi sono solitari, sessili, cilindrici e di colore rosso; restano eretti fino alla

fecondazione e quindi diventano penduli. L'impollinazione avviene tra aprile e giugno.



Picea abies (L.) H. Karst.
Image processed by Thomas Schoepke
www.plant-pictures.de

Fig. 1.2 - Rappresentazione delle foglie, dell'infiorescenza e dei frutti dell'abete rosso.

Gli strobili sono generalmente cilindrici e rastremati alle estremità (soprattutto all'apice); sono dritti o leggermente arcuati, penduli, lunghi (6) 10-15 (20) cm e larghi 3-4 cm. Essi maturano nell'anno stesso; nell'inverno avviene la disseminazione e successivamente gli strobili cadono interi. Ogni squama porta due semi brunastri lunghi 3-5 mm, con la faccia inferiore molto più convessa della superiore, avvolti lateralmente da un'ala lunga 2-3 volte il seme, sottile e lucida. Il seme non è dormiente e la facoltà germinativa si mantiene anche per un paio di anni (Gellini e Grossoni, 1996).

La fruttificazione ha un inizio relativamente tardivo (40-50 anni) in bosco denso, più precoce (25-30 anni) nelle piante isolate e le annate di abbondanza si seguono a intervalli di 3-4 anni, anche 8-10 nelle stazioni più fredde (De Philippis, 1957).

La picea si propaga per semi, per propaggine, per innesto e per talea; per propaggine si moltiplica naturalmente quando rami bassi, venendo a contatto col suolo, producono spontaneamente radici. Questo rende possibile la sopravvivenza dell'abete rosso anche ai limiti superiori altitudinali e latitudinali là dove la produzione di semi fertili avviene solo saltuariamente, mentre l'innesto viene utilizzato per propagare forme di interesse ornamentale. Si può ottenere la moltiplicazione per talee, ma generalmente è necessario ricorrere a trattamenti con sostanze rizogene.

L'apparato radicale è normalmente molto superficiale e le grosse radici non scendono al di sotto del mezzo metro di profondità; esso ha quindi un andamento marcatamente orizzontale e può svilupparsi anche in terreni profondi pochi centimetri (Gellini e Grossoni, 1996).

Il legno ha un basso peso specifico, è biancastro o leggermente giallognolo, con venature e anelli annuali ben distinti. La tessitura è media e la fibratura è solitamente dritta. Il legno è inoltre leggero, mediamente resistente a flessione e rigido; è poco durabile ai funghi e non resistente al degradamento degli insetti xilofagi, per di più è poco impregnabile con sostanze preservanti (Polazzi et al., 2004).

1.1.2 Inquadramento ecologico

La Picea copre in Europa un areale esteso (fig. 1.3): esso comprende, a Nord, la Penisola Scandinava con l'eccezione del litorale occidentale a Sud di Trondheim e della punta meridionale della Norvegia e della Svezia, nonché tutta quella parte della pianura russa che resta delimitata a Sud da una linea che ondeggia fra la foce della Vistola e la grande ansa del Volga. Nell'Europa centrale e meridionale la Picea appare solo come specie di alta montagna, nelle Alpi Transilvane, nei Carpazi, nel Massiccio della Boemia, in tutto il Giura, nella Foresta Nera, negli Alti Vosgi, nelle Alpi (comprese quelle Dinariche) e rare stazioni nei Balcani. Non si riscontra nelle montagne mediterranee e nemmeno nei Bassi Vosgi (con l'eccezione di un relitto nei pressi di Donon), nel Massiccio Centrale e nei Pirenei (Perrin, 1954).



Fig. 1.3 - Areale dell'abete rosso (da Bernetti, 1995).

In Italia, la *Picea abies* è la pianta forestale dominante sulle Alpi. L'area naturale dell'abete rosso è la fascia con clima a temperatura media annua di 4-7°C ed elevata continentalità, condizioni queste che si presentano sul versante italiano soltanto a 1500-1700 m. Qui la pedogenesi conduce, soprattutto su substrato siliceo, a suoli podsolici, acidi, magri e poveri di nutrienti: queste sono le condizioni per la formazione di foreste naturali di *Picea*. L'opera dell'uomo tuttavia ha portato ad un notevole allargamento dell'areale di questa specie.

Infatti, i forestali durante gli ultimi secoli hanno quasi ovunque favorito *Picea* rispetto alle altre specie arboree, perché questa ha una maggiore produzione (Pignatti, 1998).

L'ampia diffusione dell'abete rosso evidenzia la sua plasticità, la quale deriva dal fatto che verso le quote superiori esso non sembra limitato dalle temperature molto rigide. Limitante può, invece, essere la brevità della durata delle condizioni adatte al completamento della stagione vegetativa, con conseguenze sulla riproduzione e sulla rinnovazione (Zanzi-Sulli, 1981). Esso, infatti, necessita per il completamento delle attività vitali di almeno due mesi e mezzo con temperature maggiori di 10°C (Rubner, 1960), ma le condizioni ottimali sarebbero tre mesi e mezzo con temperature

superiori ai 14°C (Bernetti, 1995), condizioni non insolite alle alte quote della montagna alpina, soprattutto centro-orientale.

Altro fattore limitante l'abete rosso è il precario bilancio idrico nel periodo invernale, durante il quale si hanno perdite d'acqua per traspirazione cuticolare non compensato da un adeguato assorbimento dal suolo gelato (Anfodillo, 1992). Infine, limitanti sembrano essere anche i frequenti cicli di gelo e disgelo nelle foglie, soprattutto se avvengono durante l'inizio della primavera, aumentando notevolmente l'incidenza dei danni da gelo (Larcher, 1985), eventi che l'abete rosso sembra superare, almeno in parte, con una buona efficienza grazie a particolari adattamenti (Anfodillo, 1992).

Altro elemento che facilita l'ampia diffusione dell'abete rosso è la sua adattabilità a diversi tipi di suoli, cosicché lo s'incontra sia su substrati carbonatici sia su quelli silicatici. Tuttavia, è su quest'ultimi che vi è una maggiore probabilità che si creino condizioni ad esso favorevoli. Risulta, invece, scarsamente competitivo su suoli con carenze idriche troppo spinte, avendo un apparato radicale superficiale e non essendo efficiente quanto il faggio nello sfruttamento dell'umidità atmosferica (Del Favero, 2004).

1.2 LE PECCETE

Nella categoria delle peccete rientrano le formazioni a netta prevalenza di abete rosso. Queste possono essere distinte in relazione, sia alla fascia altitudinale d'appartenenza, sia in relazione alle caratteristiche del suolo.

Così procedendo si possono distinguere:

1.2.1 Pecceta subalpina

Associazione finale della fascia boreale inferiore in generale fino a 1500-1700 m di altezza con dominanza di abete rosso nello strato arboreo: è la più importante associazione forestale di conifere nel nostro territorio, quanto ad estensione e

produzione legnosa. Da noi essa per motivi climatici è limitata alle zone montagnose, dal Cadore alle Alpi lombarde e piemontesi (Pignatti, 1998).

La pecceta subalpina si forma sui fianchi delle montagne granitiche, scistose o vulcaniche, in generale a 1500-1700 m di livello; solo eccezionalmente scende a livelli inferiori quando si abbiano condizioni di ristagno di aria fredda. Si sviluppa in stazioni pianeggianti oppure con inclinazione non superiore a 15°; con pendenze maggiori la pecceta diviene discontinua e raramente si presenta in maniera ottimale. Sono possibili tutte le esposizioni, però prevalgono quelle del quadrante settentrionale per motivi mesoclimatici (Pignatti, 1998).

Il suolo della pecceta subalpina è tipicamente un podsol. L'humus è prevalentemente di tipo micogenico e gli strati superficiali del suolo presentano una discreta acidità (pH 4-5), confermata anche dall'abbondante diffusione di *Vaccinium myrtillus*, che è la specie nettamente dominante nel sottobosco, a cui si affiancano altre entità acidofile (*Luzula albida*, *Melampyrum sylvaticum*, ecc.) e specie indicatrici di suoli oligotrofici (*Avenella flexuosa*) (Del Favero et al, 1990).

Biodiversità

La pecceta subalpina presenta una tipica stratificazione:

- Strato arboreo: l'altezza varia in generale tra 20 e 25 m, però in condizioni ottimali può raggiungere e superare i 40 m; è formato da abete rosso e larice. La specie dominante nello strato arboreo è l'abete rosso, mentre il larice è indicatore di disturbo pregresso dovuto ai pascoli.
- Strato basso-arbustivo: si sviluppa a 2-4 dm di altezza ed è composto da ericacee (mirtilli, rododendri, erica), ginepro.
- Strato erbaceo e muscinale: al livello del terreno, è formato da un densissimo tappeto di muschi, mentre le specie erbacee (*Homogyne*, *Avenella*, *Hieracium*) sono relativamente sparse (Pignatti, 1998).

Entrando più nel particolare, si può notare che i pecceti subalpini hanno in comune la frequenza dei mirtilli e dei muschi, tanto che ci sono state proposte di tipologie

formulate sulla base della composizione dello strato muscinale. I tipi più importanti differiscono per l'acidità più moderata correlata a basse erbe a foglia larga, all'umidità per acque di scorrimento e, infine, per l'aridità che si manifesta col sottobosco a erbe graminoidi.

Il *pecceto subalpino tipico* corrisponde a suoli acidi o anche molto acidi, ma mai xerici. Il sottobosco è denominato *Vaccinium myrtillus* con specie di *Luzula* e con comuni acidofile come la graminacea *Avenella flexuosa* e come le erbe laminifoglie *Melampyrum sylvaticum* e *Oxalis acetosella*. Lo sviluppo dell'abete rosso varia da 25 a 30 m di altezza; la rinnovazione è lenta.

Il *pecceto subalpino a luzula* corrisponde a suoli con acidità moderata. Il mirtillo nero e l'avenella sono più rari, aumenta la partecipazione di *Luzula*, melampiro e acetosella. L'abete rosso arriva all'altezza di 35 metri; la sua rinnovazione è più facile.

Il *pecceto subalpino a megaforbie* è proprio di suoli umidi e poco acidi. La specie a grande foglia più tipica è *Adenostyles allaiariae*; abbondano anche le felci igrofile. L'abete rosso può arrivare all'altezza di 35 metri; la rinnovazione è difficile.

I *pecceti xerici* sono più spesso larici-pecceti; il sottobosco presenta specie di *Carex* e *Calamagrostis villosa*. Lo sviluppo della picea è modesto (Bernetti, 1995).

1.2.2 Pecceta montana

Le peccete montane si sviluppano attorno ai 1300-1500 m e, sporadicamente, possono scendere anche fino a 1000 m.

Il suolo di queste peccete è sempre acidificato e in generale tende verso una certa podsolizzazione, però non sempre si ha un vero profilo di podsol. A volte si tratta di un ranker con un certo accumulo di humus superficiale oppure di una terra bruna più o meno degradata e distrofica (Pignatti, 1998).

Nella fascia montana, l'abete rosso dovrebbe svolgere il ruolo di una specie subordinata capace di addensarsi solo dove può evitare la concorrenza dell'abete

bianco e del faggio e, precisamente: nelle posizioni endalpiche, sui terreni svantaggiati e nella colonizzazione di superfici disturbate. Tuttavia, l'uomo ha favorito un'ampia diffusione di pecceti montani (anche esalpici) procurando spazi per la colonizzazione, favorendo l'abete rosso nelle ripuliture del novellame spontaneo e anche con piantagioni. Pertanto, non è sempre facile distinguere l'origine e le prospettive evolutive dei boschi attualmente dominati dalla picea (Bernetti, 1995).

Biodiversità

La pecceta montana è caratterizzata dalla dominanza di *Picea excelsa* nello strato arboreo e di *Vaccinium myrtillus* ed altre Ericacee nello strato arbustivo. Mancano specie caratteristiche esclusive di questa associazione.

La particolare importanza di questa pecceta consiste nel fatto che essa è estremamente diffusa. Nelle Alpi venete e lombarde i boschi di *Picea* a 1000-1500 m di altitudine possono in generale venire riferiti a questa associazione (Pignatti, 1998).

I *pecceti montani acidofili* sono simili ai pecceti subalpini per l'abbondanza del mirtillo nero; però la gamma di specie del sottobosco è più ricca e può comprendere anche specie arbustive. Lo sviluppo in altezza dell'abete rosso può arrivare a 30 m; la rinnovazione non è difficile.

I *pecceti montani xerici* (spesso su rocce carbonatiche) sono simili all'omologo subalpino, anche per la presenza del larice, ma il sottobosco con prateria a *Calamagrostis* è più vario, vi si aggiungono anche orchidee (*Cephalanthera*) e arbusti: *Amelanchier*, *Berberis*, ecc. L'abete rosso è all'estremo della resistenza all'aridità ed è capace solo di modesti sviluppi.

I *pecceti montani dei suoli più ricchi* presentano accrescimenti rapidi e altezze fino a 40 m. Però nelle più frequenti posizioni medioalpiche ed esalpiche sono facili le evoluzioni verso il ripristino della dominanza dell'abete bianco e anche del faggio (Bernetti, 1995).

1.3 PRINCIPALI IMPIEGHI DELL'ABETE ROSSO

I tronchi dell'abete rosso possono raggiungere diametri anche oltre il metro e solitamente sono commercializzati in topi lunghi 4 metri che vengono trasformati in segati, tavolame di diversi spessori e tranciati. È molto utilizzato anche per travature, con lunghezze anche di 12-14 m.

Le caratteristiche meccaniche e l'omogeneità del materiale ritraibile dalle foreste di questa specie offrono la possibilità di impiegare convenientemente questo legno per svariati usi: tavolame e travi per l'edilizia, mobili andanti, lavori di falegnameria, rivestimenti interni, serramenti, materiale per pannelli di fibre di particelle, lana di legno (Palazzi et al., 2004). Il legname di abete rosso ha ottime caratteristiche di piallatura, tenuta chiodi, ecc. La resistenza alle intemperie è solo poco minore di quella del legno di larice (Bernetti, 1995).

Il legno proveniente da rare piante con particolari caratteristiche è utilizzato per parti di violini e altri strumenti ad arco o parti di pianoforti (legno di risonanza o legno con indentature) (Polazzi et al., 2004).

Nei vivai, l'abete rosso è coltivato come pianta ornamentale, come albero di Natale e come pianta per i rimboschimenti. In questi ultimi anni, infatti, è stata la specie più utilizzata, ed ancora oggi è l'albero dominante in buona parte dei boschi di origine artificiale. Nei vivai, per produrre piante di diverso utilizzo, si provvede a raccogliere i semi tra le migliori piante madri autoctone; la semina, eseguita in pieno campo, viene fatta collocando il seme in piccoli solchi coperti da terriccio e proteggendolo con una rete nera con lo scopo anche di ombreggiare il terreno. Trascorsi uno o due anni in vivaio, le conifere devono essere trapiantate a distanza adeguata e poi, dopo altri due anni, sono pronte per la messa a dimora (www.cm-casentino.toscana.it).

1.4 NUTRIZIONE MINERALE NELLE PIANTE

1.4.1 Macro- e micronutrienti

Sulla base delle concentrazioni normalmente trovate nelle piante, i nutrienti inorganici essenziali possono essere divisi in macronutrienti e micronutrienti. I macronutrienti sono quegli elementi necessari in grande quantità per la vita degli organismi vegetali e, in seconda battuta, animali, i micronutrienti sono richiesti in piccolissime quantità o in traccia (tab. 1.1).

Tab. 1.1 - Concentrazione di nutrienti nelle piante (da Raven, et al., 1990).

Elemento	Forma nella quale è assorbito	Concentrazione nell'intera pianta (% di peso secco)	Funzioni
<i>Macronutrienti</i>			
Carbonio	CO ₂	44	Componente di composti organici
Ossigeno	H ₂ O o O ₂	44	Componente di composti organici
Idrogeno	H ₂ O	6	Componente di composti organici
Azoto	NO ₃ o NH ₄ ⁺	1-4	Aminoacidi, proteine, nucleotidi, clorofilla, coenzimi, acidi nucleici
Potassio	K ⁺	0,5-6	Enzimi, aminoacidi e sintesi delle proteine, apertura e chiusura degli stomi; attivatore di molti enzimi;
Calcio	Ca ⁺⁺	0,2-3,5	Calcio delle pareti cellulari; cofattore enzimatico; permeabilità cellulare; regolatore di attività enzimatiche di membrana
Fosforo	H ₂ PO ₄ ⁻ o HPO ₄ ⁻	0,1-0,8	Formazione di composti ad alta energia (ATP, ADP, CP); acidi nucleici; fosforilazione degli zuccheri; vari coenzimi essenziali; fosfolipidi
Magnesio	Mg ⁺⁺	0,1-0,8	Fa parte della molecola della clorofilla; attivatore di vari enzimi
Zolfo	SO ₄ ⁻	0,05-1	Alcuni aminoacidi e proteine; coenzima A
<i>Micronutrienti</i>			
Ferro	Fe ⁺⁺ o Fe ⁺⁺⁺	25-300 ppm	Sintesi della clorofilla, citocromi e nitrogenasi
Cloro	Cl ⁻	100-10000 ppm	Osmostico ed equilibrio ionico; probabilmente necessario nella fotosintesi, nelle reazioni in cui è prodotto ossigeno
Rame	Cu ⁺⁺	4-30 ppm	Attivatore di alcuni enzimi
Manganese	Mn ⁺⁺	15-800 ppm	Attivatore di alcuni enzimi
Zinco	Zn ⁺⁺	15-100 ppm	Attivatore di alcuni enzimi
Molibdeno	MoO ₄ ⁻	0,1-5 ppm	Fissazione dell'azoto, riduzione del nitrato
Boro	BO ₃ ⁻ o B ₄ O ₇ ⁻	5-75 ppm	Influenza nell'utilizzazione del Ca ⁺⁺
Elementi essenziali di alcune piante e organismi			
Cobalto	Co ⁺⁺	Tracce	Richiesto dagli organismi azoto-fissatori
Sodio	Na ⁺	Tracce	Equilibrio osmotico e ionico, probabilmente non necessario per la maggior parte delle piante; necessario per alofite e per molte piante che crescono in habitat come il deserto e habitat di paludi salte; può essere richiesto da tutte le piante con fotosintesi C4

In termini generali possiamo dire che la carenza di uno o più di questi elementi comporta sintomatologie di vario tipo e gravità; all'opposto, la presenza in concentrazione eccessiva, sempre da evitare per ragioni ambientali ed economiche, produce manifestazioni di tossicità solo se si tratta di microelementi. Talvolta si osservano anche effetti negativi derivanti da un'elevata concentrazione di macroelementi che sono, però, in genere dovuti alla eccessiva salinità che si viene a creare nell'ambiente radicale e all'azione antagonista che alcuni nutrienti esercitano nei riguardi dell'assorbimento di altri elementi (Baroncelli e Landi, 2004).

La necessità dei macroelementi può essere giustificata facilmente. Azoto, fosforo, zolfo entrano tutti nella composizione di importanti molecole organiche, quali proteine, nucleotidi, fosfolipidi, ecc.

I microelementi sono dei componenti di catalizzatori e quindi non si consumano durante una reazione: di conseguenza ne basta una piccola quantità per catalizzare la trasformazione di un numero indefinito di molecole di substrato (Longo, 2003).

1.4.2 Azoto

L'azoto è l'elemento nutritivo che i vegetali richiedono in misura maggiore e di frequente limita la crescita delle piante delle zone boreali e temperate.

Rappresenta il 2-4% del peso secco della pianta ed è il componente essenziale delle proteine. È inoltre coinvolto nel controllo dell'equilibrio cationi-anioni e del pH all'interno della pianta. Nella biosfera l'azoto è disponibile, per le piante, in diverse forme che includono l'azoto molecolare (N_2), azoto volatile (NH_3 e NO_x), azoto minerale (NO^- e NH_4^+) ed infine l'azoto organico sotto forma di amminoacidi, proteine, nucleotidi, clorofilla, coenzimi e acidi nucleici.

Le piante sono in grado di assimilare le forme inorganiche dell'azoto, soprattutto nitrico e ammoniacale. Queste forme rappresentano solo una piccola parte della quantità totale di azoto presente sulla terra. Il vero serbatoio naturale di azoto è l'atmosfera che ne contiene circa l'80% in forma molecolare (N_2). Solo un numero

esiguo di microrganismi è capace di sintetizzare direttamente l'azoto elementare, convertendolo in forma organica e cedendolo poi alle piante (Trambaioli, 1999).

Negli ecosistemi di foresta, la disponibilità di azoto per le radici delle piante e il rapporto $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ dipende dalla velocità dei processi di ammonificazione, nitrificazione, immobilizzazione e denitrificazione che avvengono in essi (Heynes e Goh, 1978). Mentre NO_3^- domina nei terreni agrari con elevato riciclo di azoto, ben aerati e con pH neutro, l' NH_4^+ gioca un'importante ruolo nei terreni di forestali indisturbati, con pH acido e scarsa mineralizzazione della sostanza organica (Glass e Siddiqi, 1995; Gessler et al., 1998).

Significativi apporti di NH_4^+ alle foreste derivano dagli input atmosferici (Fangmeier et al., 1994). Un alto contenuto di NH_y atmosferico non solo influenza la disponibilità di NH_4^+ per le radici, ma serve anche come riserva addizionale di N (Pearson e Stewart, 1993) che però, in forma ridotta, può compromettere l'uso del nitrato con il quale compete per quanto riguarda l'assorbimento radicale. Infatti, l'assorbimento del nitrato da parte delle radici delle conifere è fortemente inibito quando è disponibile NH_4^+ (Scheromm e Plassard, 1988; Marschner et al., 1991; Rennenberg et al., 1996).

Situazioni particolarmente dannose per le conifere si hanno quando l'ammonio è presente in largo eccesso poiché, inibendo l'assorbimento di potassio o magnesio, si manifestano negli aghi i tipici sintomi di carenze nutrizionali (Roelofs, 1986).

La dinamica delle due diverse fonti azotate risulta perciò assai complessa, poiché influisce anche sulla disponibilità ed acquisizione degli altri elementi minerali.

Analizzando il livello di azoto di una pianta, ad esempio tramite analisi fogliare, si può ottenere un'indicazione sul tasso di presenza di questo elemento in un ecosistema ed il grado di saturazione di azoto (Aber et al., 1998). Inoltre, la concentrazione di N fogliare è connessa alla mineralizzazione netta di azoto (Ollinger et al., 2002) e alla deposizione di N inorganico tramite precipitazione (Dise et al., 1998).

1.4.3 Carbonio

La forma del carbonio utilizzabile dalle piante è unicamente la CO₂ atmosferica (o disciolta nell'acqua). Le foreste rimuovono CO₂ dall'atmosfera ed immagazzinano questo gas serra nella sostanza organica. Ciò ha promosso l'interesse a sviluppare inventari del carbonio nelle foreste, chiamate a stabilizzare o ridurre i livelli di carbonio atmosferico. A livello globale, infatti, il carbonio dei sistemi terrestri è per 2/3 sequestrato nelle componenti degli ecosistemi forestali che includono alberi, piante del sottobosco, lettiera, necromassa e carbonio organico nel suolo. Le foreste, infatti, sono ecosistemi complessi caratterizzati da strati verticali distinti con proprietà funzionali diverse (Misson et al., 2007). La potenziale capacità d'accumulo di carbonio negli ecosistemi forestali è influenzata principalmente dall'età e dalla percentuale di copertura del soprassuolo, oltre che dal clima, dalla fertilità del suolo, dalla struttura e dalla composizione specifica del popolamento (Porté et al., 2005).

1.4.4 Zolfo

È noto da oltre due secoli che lo zolfo è un nutriente essenziale per la vita vegetale; è, infatti, un costituente di aminoacidi (cistina, cisteina e metionina), di vitamine (tiamina, biotina) e di altri importanti composti (glutazione, coenzima A e citocromo c). La frazione legata organicamente (per l'80% in forma proteica) rappresenta una percentuale oscillante tra lo 0,06 (nelle conifere) e lo 0,7 (nelle crocifere) del peso secco fogliare. Ogni anno vengono utilizzate 10·10⁶ t di questo elemento come fertilizzante, che costituisce il quarto fattore della nutrizione minerale (dopo azoto, fosforo e potassio).

Numerosi sono i casi nei quali esso svolge un ruolo fondamentale nel condizionare le qualità dei prodotti vegetali. Sebbene la principale fonte sia il terreno (il tenore indicativo è circa 0,01-0,05%) in forma di solfato (SO₄²⁻), che viene assorbito attraverso le radici e traslocato alle foglie ove gran parte di esso viene ridotto e metabolizzato, un'importante sorgente secondaria è rappresentata dall'aria ambiente, dove sono almeno quindici le specie molecolari aerodisperse contenenti questo

elemento. Se le piante non sono in grado di ottenere un'adeguata nutrizione solforica attraverso il suolo, possono provvedere alle loro esigenze assimilando anidride solforosa (SO₂) o altri composti volatili, come H₂S. Quando, però, la molecola è assorbita dall'atmosfera in quantità maggiori rispetto a quelle necessarie, i vegetali possono essere influenzati negativamente (Lorenzini e Nali, 2005): gli effetti negativi legati ad alte concentrazioni di zolfo si possono riscontrare come lesioni agli aghi di conifera (Rautio et al., 1998), i cui apici divengono marroni.

1.4.5 I nutrienti in *Picea abies*

La concentrazione degli elementi inorganici dei diversi settori di un albero è connessa alla mobilità dell'elemento specifico all'interno della pianta. La possibilità di spostamento dell'elemento è dovuta a vari fattori, come ad esempio la solubilità degli ioni, la carica ionica e il gradiente di concentrazione all'interno delle cellule. N, P, K e S sono considerati relativamente mobili, Mg è meno mobile e Ca è piuttosto immobile (Brække and Haland, 1995).

Rennerfelt e Tamm (1962) effettuarono uno studio sul marciume radicale (*Heterobasidion annosum*) dell'abete rosso in Svezia, dove descrissero lo status degli elementi nutritivi, a diverse altezze su alberi infetti dal marciume, e anche in due piante sane. Nelle piante sane le concentrazioni di P aumentarono con l'altezza dell'albero, mentre nessuna differenza fu trovata per Ca e K.

Werkelin (2002) investigò sugli elementi formanti le ceneri in diverse specie arboree, compreso l'abete rosso. Egli trovò differenze significative correlate all'altezza delle piante per P, Mg, K e Fe e nessuna differenza per Si, Al, Na, S, Cl, Ca e Mn.

Successivi studi sulla *Picea* hanno dimostrato che la più alta concentrazione della maggior parte degli elementi nutritivi è localizzata negli aghi, seguiti dai rami, dalla corteccia e dal legno (Rothpfeffer, Karlton, 2007).

Di seguito (tab. 1.2) sono riportati i valori soglia (espressi in mg g⁻¹) dei principali elementi nutritivi presenti negli aghi di Abete rosso.

**Tab. 1.2 - Concentrazione degli elementi nutritivi (mg g^{-1}) in aghi di Abete rosso.
Da Hüttl, 1986.**

Element	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Optimum supply	>15	>1.5	>6.0	>3.0	>1.0	>0.08
Deficient supply	<12-13	<1.1-1.2	<4-4.5	<1.0-2.0	<0.7-0.8	<0.02

1.5 LE PRINCIPALI TECNICHE DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO

1.5.1 Definizione e classificazione

Nelle “colture senza suolo” sono comprese tutte quelle tecniche di coltivazione attuate in assenza del comune terreno agrario nelle quali il rifornimento alle piante, di acqua e di altri elementi nutritivi, avviene generalmente attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva completa di macro- e micro-nutrienti (Malorgio, 2004).

Di solito, le colture fuori suolo (nella terminologia anglosassone sono identificate come soilless cultures) si possono suddividere in base al tipo di supporto della pianta in colture su substrato (artificiale, minerale, organico o un mix di questi) e colture senza substrato, in cui l’apparato radicale è più o meno immerso in una soluzione nutritiva (Nutrient Film Technique o floating system).

In figura 1.4 è riportato uno schema della classificazione dei diversi sistemi colturali.



Fig. 1.4 - Classificazione delle tecniche fuori suolo più diffuse; in parentesi è riportata la nomenclatura internazionale (Malorgio et al., 2004).

Un altro tipo di classificazione è quella che si basa sul riutilizzo o meno del drenato. Infatti, per motivi tecnologici (difficoltà tra i punti di erogazione della soluzione nutritiva, differente sviluppo vegetativo delle piante) e per la qualità dell'acqua irrigua (alto contenuto di elementi non essenziali con conseguente necessità di dilavamento per evitare il loro accumulo) è necessario dare un quantitativo di soluzione nutritiva superiore a quella evapotraspirata dalla coltura, ottenendo così un percolato denominato drenato: se questo è raccolto e, dopo essere opportunamente reintegrato, è ri-somministrato alla coltura si parla di ciclo chiuso, mentre se questo è utilizzato su una coltura, o peggio, se è scaricato nell'ambiente si parla di ciclo aperto (Malorgio et al., 2004).

1.5.2 Un po' di storia e attuale diffusione delle colture fuori suolo

L'idroponica non può essere considerata solo un'invenzione moderna in quanto è ormai noto che queste coltivazioni erano già conosciute dagli antichi egizi (Resh, 1998); altri esempi sono i giardini di Babilonia e degli Aztechi in Messico (Jensen, 1997) e le zattere galleggianti sui fiumi dei Cinesi. Queste ultime erano costruite con canne, giunchi o bambù su cui era predisposto uno strato di terreno fertile per la coltivazione di ortaggi; il vantaggio di queste coltivazioni galleggianti era il facile trasporto fluviale dei prodotti al mercato (Malorgio, 2004).

La prima applicazione su scala commerciale della coltura idroponica (Deep Water Culture) fu, comunque, quella di W.F. Gericke, fisiologo della California Agricultural Experimental Station nel periodo tra le due guerre mondiali nel secolo scorso. Il sistema nacque come mezzo alternativo alla coltivazione in terra in serra, afflitta notoriamente, allora come adesso, dai problemi di stanchezza del terreno (Jensen, 1997).

Durante la seconda guerra mondiale, l'esercito americano utilizzò l'idroponica per la produzione di prodotti freschi da destinare alle sue truppe presenti in Giappone. Il motivo fu essenzialmente igienico, in quanto, in quel paese, si utilizzavano liquami di origine umana per la concimazione degli ortaggi e questo ne consentiva l'uso solo dopo la cottura; così 22 ha di colture idroponiche furono realizzati a Chofu (Resh, 1998). La tecnica suscitò la curiosità degli sperimentatori giapponesi che, negli anni seguenti perfezionarono la versione originale di Gericke e la diffusero tra i serricoltori locali (*Deep Recirculating Culture*). Dal punto di vista commerciale, tuttavia la tecnica non si sviluppò moltissimo per i problemi di corrosione delle tubature indotti dall'uso di soluzioni acidule, per il costo elevato per costruire i bancali e per la facilità con cui comparivano fenomeni di ipossia radicale, che portavano alla perdita della coltivazione.

L'introduzione della plastica in agricoltura, intorno agli anni '60, semplificò alcuni aspetti costruttivi (tubazioni, canalette, ecc.), e suscitò nuovamente l'interesse degli operatori verso le colture fuori suolo. I ricercatori continuarono a perfezionare la

coltivazione in idroponica e nel 1965 Allen Cooper, ricercatore al Glasshouse Crops Research Institute a Littlehampton in Inghilterra, ideò il sistema NFT (*Nutrient Film Technique*). In Europa i primi impianti di colture senza suolo furono realizzati nel 1963, ma è solo negli anni '70 che possiamo parlare di una produzione commerciale fuori suolo significativa dal punto di vista statistico.

Solo a partire dagli anni '80, con l'utilizzo di nuovi substrati di natura organica (a base di torba) e di substrati artificiali o naturali (lana di roccia, perlite, pomice, lapillo vulcanico ecc.) con caratteristiche fisiche-chimiche migliori rispetto alla sabbia o alla ghiaia ha aperto la diffusione su larga scala di queste colture. Attualmente esistono diverse tipologie di colture su substrato, sia per il materiale utilizzato come substrato (materiali singoli o loro miscugli), sia per il metodo di erogazione della soluzione nutritiva (Malorgio et al., 2004).

Oggi, in Olanda più del 90% degli ortaggi di serra è prodotto con tecniche di coltivazione fuori suolo e la stessa tendenza si osserva su ciò che concerne la produzione di fiori recisi (Van Os e Stanghellini, 2001). La coltivazione fuori suolo è diventata sempre più diffusa anche nell'Est dell'Asia e nelle regioni mediterranee, in particolare in Spagna e Israele. Recentemente, l'idroponica è stata inclusa nel programma di ricerca condotto dalla NASA per sviluppare un sistema di produzione di cibo per le missioni spaziali (Jensen, 1997). Altre particolari applicazioni dell'idroponica riguardano l'allevamento di piante medicinali per la produzione di fitofarmaci (Pardossi et al., 2005).

Tuttavia la tecnologia idroponica è rimasta una tecnica poco diffusa. Si stima che gli ettari coltivati sotto serra con sistemi idroponici siano compresi tra 20.000 e 30.000, secondo i dati riportati da Jouet (2001) e Van Os et al. (2001), su un totale delle aree destinate alle colture protette che è di circa 2 milioni di ha, se teniamo conto del recentissimo boom della Cina in questo particolare settore agricolo.

Tab. 1.3 - Vantaggi e svantaggi delle colture senza suolo (Malorgio et al., 2004).

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> - Standardizzazione della produzione - Migliore controllo delle condizioni fitosanitarie - Miglior controllo dell'ambiente radicale - Riduzione del consumo idrico - Uso efficiente dei concimi e migliore gestione della nutrizione della pianta - Maggiore precocità - Razionalizzazione del lavoro e possibilità di meccanizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> - Costi d'impianto elevati - Necessità di personale tecnico specializzato - Smaltimento dei substrati utilizzati o "esausti" - Smaltimento delle soluzioni drenate non completamente esaurite - Maggior uso di materiali difficili da riciclare (plastica) - Necessità di disporre di acqua di buona qualità - Rischi di asfissia radicale

I motivi di questo lento sviluppo della tecnologia sono da ricercare in alcuni svantaggi (tab.1.3) che essa presenta, primi tra tutti i maggiori investimenti iniziali e la necessità di una certa professionalità per la sua corretta gestione da parte dell'agricoltore. In Italia la diffusione delle colture fuori suolo appare ancora al di sotto delle effettive potenzialità. Le carenze di preparazione tecnico-professionale, riguardanti soprattutto la gestione della soluzione nutritiva (C.E., pH, rapporti ionici), e la necessità di ottimizzare i vari fattori della produzione (strutture serre, climatizzazione, varietà, cicli colturali), impediscono di trarre i benefici offerti dalle colture fuori suolo. In particolare la prevalenza di protezioni semplici, a bassa volumetria e di modesta superficie, risulta limitante per lo sviluppo di tecniche colturali avanzate come quelle del "fuori suolo" (Tesi, 2002).

I principali vantaggi offerti dalle colture fuori suolo sono molto attenuati e spesso non convenienti se la tecnica è applicata in una struttura a bassa tecnologia e quindi con un insufficiente controllo climatico (Di Mauro e Incrocci, 2005), come lo è nella quasi totalità delle strutture protette.

A conferma di quanto sopra esposto sta il fatto che la coltura fuori suolo si è particolarmente diffusa nell'Europa dell'Ovest, dove circa 12.000 ha (di cui solo

5.000 in Olanda) sono coltivati utilizzando colture a ciclo aperto o chiuso su substrati inorganici (Van Os e Stanghellini, 2001); in questi stessi paesi è anche maggiore la concentrazione di serre a media e alta tecnologia, dove, in effetti la coltura fuori suolo può esprimere al massimo le sue potenzialità.

Per quanto riguarda l'Italia, nel 1990 esistevano meno di 50 ha per lo più concentrati in Sardegna. Negli anni successivi si è avuta una certa diffusione delle colture senza suolo in Italia che, comunque, rimane poco utilizzata: oggi si stima che la superficie delle serre utilizzata per colture senza suolo sia intorno a 1000 ha, pari a circa il 4% dell'intera superficie protetta italiana. Le tecniche più usate sono quelle che prevedono l'impiego di un substrato, organico (fragola) od inerte (ortaggi e fiori recisi); una discreta diffusione ha avuto il *floating system*.

Quattro specie coprono da sole oltre il 90% della superficie totale e sono quelle in cui la coltivazione fuori suolo ha dato dei reali vantaggi: fragola (200 ha), pomodoro (200 ha fra differenti tipologie), gerbera (100 ha), rosa (200 ha). Tra i substrati maggiormente utilizzati troviamo in ordine d'importanza la torba, la perlite, la lana di roccia, la pomice, il lapillo o altre rocce vulcaniche e la fibra di cocco. Sono, infine, da ricordare altri materiali legati a realtà locali come le vinacce e le alghe marine (usate ad esempio in Sardegna).

Nell'ultimo decennio, il consumatore ha profondamente cambiato le proprie esigenze alimentari e ha cominciato a valutare i prodotti ortofrutticoli anche dal punto di vista igienico-sanitario e, ancora più recentemente, salutistico. Inoltre, sono aumentati i vincoli alla produzione agricola imposti da una legislazione sempre più di stampo ambientalista. La proibizione dell'impiego del Bromuro di Metile, avvenuta nel 2005, l'introduzione di valori massimi del contenuto di nitrati negli ortaggi da foglia e la limitazione del consumo di pesticidi e fertilizzanti impongono agli agricoltori una profonda revisione delle tecniche colturali. Le colture senza suolo, in questo senso, potrebbero giocare un ruolo importante (Malorgio et al., 2004).

1.6 I PRINCIPALI SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO

Le tipologie utilizzate nell'applicazione pratica sono abbastanza numerose anche se spesso la loro diversificazione è limitata.

Una prima distinzione può essere fatta sulla presenza o meno del substrato o sul sistema di conduzione (vedi paragrafo 1.8) che può essere aperto, dove non è previsto il recupero della soluzione, o chiuso – in questo caso il drenato è raccolto e riciclato e la coltivazione è completamente isolata dal mondo esterno (Tognoni, Incrocci, 2003). Le colture senza substrato possono essere ricondotte fondamentalmente a quattro tipi: Deep Recirculating Culture, Idroponica galleggiante (Floating System), Nutrient Film Technique, e Aeroponica.

1.6.1 Deep Water Culture e Floating System

La Deep Water Culture, ideata da Gericke (1929), è stata la prima tecnica fuori suolo a diffusione commerciale: il sistema era costituito da vasche contenenti la soluzione nutritiva, sulle quali era appoggiata della rete a maglia fine ricoperta con tela che serviva a ricoprire un sottile strato di sabbia (circa 1 cm) dove erano trapiantate le giovani piantine.

Il principale difetto di questo sistema era la facilità con cui si verificavano fenomeni di ipossia 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.

Il problema dell'ipossia radicale, tipico di questa tecnica, è stato risolto attraverso l'introduzione di un'aerazione forzata (con compressori) o con speciali sistemi di ricircolo della soluzione nutritiva che ne favoriscono l'aerazione (*Deep Recirculating Culture*). Queste modifiche al sistema originario hanno permesso una larga diffusione di questo sistema in Giappone, dove nel 1996 esistevano circa 300 ha, pari ad un terzo della superficie totale delle colture fuori suolo presenti nel paese.

La diffusione del polistirolo e di altri materiali plastici "ultraleggeri" (Styrofoam®) ha permesso la realizzazione di vassoi di coltivazione "autoportanti" e cioè capaci di

galleggiare sulla soluzione nutritiva. Questa modifica, nota col nome di *floating system*, fu usata per la prima volta dal Prof. Franco Massantini (Università di Pisa) nel 1976 per la coltivazione di lattuga, cardo e fragola.

Nel *floating system*, sopra la superficie dell'acqua, che ha una profondità di 20-25 cm, viene appoggiato un pannello di polistirolo con numerosi fori o solchi in cui vengono seminate le diverse colture. Si tratta di un vero e proprio galleggiamento delle piante entro le vasche (Tesi, 2002).

Le piante sono allevate in un elevato volume unitario di soluzione nutritiva (circa 100-300 litri per m²), che assicura un elevato potere tampone al sistema; riduce, ad esempio, le escursioni termiche a livello radicale e consente di ridurre la frequenza del controllo e della reintegrazione della soluzione nutritiva (Malorgio, 2004).

L'estrema semplicità costruttiva è il principale motivo della notevole espansione commerciale di questo sistema in Italia per la coltivazione di specie a ciclo breve, come ad esempio insalate da taglio, rucola, valerianella ed erbe aromatiche (basilico, menta, timo ecc.). Le aree maggiormente interessate a questa tecnologia sono quelle che per tradizione sono dedite alle colture ortofloricole e tra queste possiamo ricordare: la Sardegna, il Lazio, la Sicilia, il Veneto, la Campania, la Toscana e la Liguria (Incrocci e Tognoni, 2001).

1.6.2 Nutrient Film Technique (NFT)

La tecnica, messa a punto da Cooper nel 1972 (Cooper, 1979) a Littlehampton in Inghilterra, prevede la coltivazione delle piante in canalette in leggera pendenza (1.5-2.5%) entro le quali scorre (con un flusso di 1-3 L/min) un sottile film di soluzione nutritiva (Malorgio, 2004) fino a giungere al deposito, posizionato al di sotto del piano di coltivazione, in cui sono inseriti i sensori per il controllo della soluzione (Tesi, 2002). Non è prevista la presenza del substrato, utilizzato in piccola quantità solo per la preparazione delle piantine in vivaio. La soluzione nutritiva è reintegrata ogni 3-7 giorni ed, eventualmente, rinnovata ogni 2-3 settimane in funzione dello stato fenologico di sviluppo e della specie coltivata. Con questa tecnica sono coltivate

specie ortive il cui ciclo non supera 4-5 mesi oppure specie da foglia, come la lattuga, coltivate ad alta densità (Pardossi e Sciortino, 2004).

Il sistema NFT presenta non pochi inconvenienti che, di fatto, ne hanno limitato la diffusione su scala commerciale (Malorgio, 2004). Il più importante è legato alla formazione, almeno in alcune specie, di un abbondante (eccessivo) apparato radicale che in colture a ciclo lungo aumenta i rischi di ipossia radicale, di inquinamento organico (escreti radicali) della soluzione nutritiva e di proliferazione di organismi patogeni responsabili di malattie radicali. Basti pensare che il 18-25% dei fotosintati sono persi attraverso le radici (Jackson, 1980).

Il sistema NFT, infine, ha una scarsa inerzia termica; conseguentemente, le piante sono soggette a grandi escursioni termiche a livello radicale sia durante il periodo invernale sia in quello estivo, soprattutto se le canalette non sono costruite con materiali isolanti, nè sono dotate di serpentine riscaldanti o raffreddanti per contenere la temperatura entro i 22-30°C e se non sono rialzate dal suolo (Tognoni, Incrocci, 2003).

Nel 1992 la GVI System Corporation ha sviluppato un sistema chiamato “Super Nutrient Film Technique” (SNFT) con lo scopo di eliminare questi inconvenienti. Nel SNFT la soluzione è distribuita da ugelli disposti lungo la canaletta, assicurando una perfetta distribuzione ed un’adeguata presenza di ossigeno in vicinanza della radice. La canaletta ha, inoltre, un particolare profilo che permette alla soluzione erogata ad ogni singola pianta di scorrere trasversalmente alla canaletta stessa, raccogliendosi ai lati della stessa, per poi scorrere longitudinalmente. Ciò permette di utilizzare canalette lunghe fino a 12 m. In questo modo le radici di ogni singola pianta sono bagnate da soluzione nutritiva fresca e non già impoverita da quelle che stanno a monte (Malorgio et al., 2004).

1.6.3 Aeroponica

Rappresenta la semplificazione estrema di un sistema idroponico, con assenza di substrato a livello radicale, e con un minimo impiego di soluzione nutritiva (Tesi, 2002). In questo sistema le radici delle piante sono sospese in un contenitore dove un sistema di nebulizzazione le mantiene costantemente umide. La soluzione nutritiva è ricircolante e i problemi di ipossia sono praticamente nulli (FAO, 1990).

Per maggiori dettagli vedi paragrafo 1.9.

1.6.4 La coltura in contenitore

Le prime coltivazioni su substrato furono realizzate utilizzando bancali di cemento riempiti con sabbia o ghiaia (*gravel culture*, FAO, 1990). Successivamente, l'introduzione di substrati a base di torba assicurò una maggiore riserva idrica ed aerazione permettendo così di ottenere un sistema abbastanza affidabile dal punto di vista commerciale.

L'evoluzione di colture su substrato è stata determinata dalla necessità di diminuire i costi d'impianto (costi dei supporti, della manodopera necessaria per il suo montaggio e dello stesso substrato). L'introduzione della plastica ha permesso di abbandonare i costosissimi bancali di cemento: dalle canalette in polipropilene, opportunamente sagomate, si è passati all'impiego di cassette o grossi vasi ed infine all'uso di sacchi o appositi profilati in polistirolo che hanno determinato una sostanziale riduzione del volume di substrato a disposizione della pianta (Malorgio, 2004).

Nelle serre per la produzione di piante ornamentali in vaso è molto diffusa la subirrigazione (detta anche tecnica del flusso e riflusso) (tab. 1.4) in cui i vasi sono collocati in canalette o bancali o meglio in platee impermeabili con un flusso intermittente di soluzione nutritiva. La soluzione nutritiva viene pompata nel bancale con frequenza variabile (ogni 1-3 giorni) a seconda delle necessità delle piante;

raggiunge un'altezza di 2-4 cm a seconda dell'altezza dei vasi, e vi permane per 15-20 minuti in modo da consentire all'acqua di essere assorbita dai vasi attraverso i fori di drenaggio (Tesi, 2002).

Il principale vantaggio di questa tecnica sta nel fatto che la soluzione nutritiva penetra nel vaso dalla base e per risalita capillare si diffonde verso l'alto. Si crea così un flusso unidirezionale, dal basso verso l'alto, che ostacola la propagazione dei parassiti e semplifica il controllo dei nutrienti nella soluzione nutritiva ricircolante. A fronte di maggiori costi iniziali, questa tecnica ha il vantaggio di una forte riduzione della manodopera necessaria per la bagnatura dei vasi, una scarsa predisposizione alla diffusione delle malattie radicali (anche adottando la gestione del ciclo chiuso) e la possibilità di un'automazione delle operazioni di posizionamento, spazatura e raccolta dei vasi delle piante coltivate. Tuttavia, il fenomeno della risalita capillare può creare condizioni di forte salinità all'interno del vaso per accumulo di ioni non essenziali non assorbiti dalla pianta, come ad esempio sodio e cloro, se non si usano acque di buonissima qualità (Incrocci et al., in press).

Negli ultimi anni si è assistito all'introduzione di molti nuovi materiali (come la fibra di cocco), ognuno con i suoi pregi e difetti. Attualmente i mezzi di crescita più diffusi sono i substrati a base di torba o fibra di cocco (mescolati con pomice o perlite), la perlite e la lana di roccia (tab. 1.5). A prescindere dal lato economico però, il mezzo ideale di coltura dovrebbe presentare alcune importanti caratteristiche: proprietà meccaniche adeguate per garantire la stabilità dell'impianto; alta porosità (non meno del 75-80%); una distribuzione adeguata di ossigeno e acqua per garantire una buona tenuta idrica ed allo stesso tempo facilitare gli scambi gassosi nella parte ipogea della pianta; pH compreso tra 5.0 e 6.5; basso contenuto in sali solubili; bassa capacità di scambio cationico; capacità di mantenere le caratteristiche originarie per colture con ciclo colturale lungo; assenza di patogeni e/o sostanze bio-tossiche (Malorgio, et al., 2004).

Tab. 1.4 - Caratteristiche delle principali tecniche di coltivazione senza suolo (da Pardossi et al. 2005).

Caratteristiche	Culture in substrati			Colture idroponiche		
	Sub. organici + irr. goccia	Sub. inerti + irr. goccia	Flusso e riflusso	N.F.T.	Floating System	Aeroponica
Diffusione	++++	++++	++	++	+	+
Tipo di colture	Ortaggi da frutto, fragola, fiori recisi	Ortaggi da frutto, fragola, fiori	Piante in vaso	Ortaggi	Ortaggi da foglia	Ortaggi da foglia
Tipo substrati	Torbe	Perlite, pomice argilla espansa	Torba, perlite	Assente	Assente	Assente
Costi di investimento	++	++	+++	+++	+	++++
Costi di gestione	++	+++	++	+++	+	+++
Difficoltà della gestione tecnica	+	++	++	+++	++	+++
Rischio di ipossia radicale	+	++	++	+++	+++	+
Rischio di stress termici radicali	++	+++	+	+++	++	+++
Rischio di malattie radicali	+	+	++	++	+++	+
Produzione e qualità	++++	++++	++++	++++	+++	+++
Potere tampone del sistema	+++	++	++	Assente	Assente	Assente

Tab. 1.5 - Caratteristiche fisico-chimiche dei principali substrati usati nell'ortoflorovivaismo. (Tognoni - Incrocci, 2003).

Materiale	Peso specifico (g/l)	Cap. aria (% vol.)	Acqua disponibile (% vol.)	Acqua facilmente disponibile (% vol.)	CSC (meq/100 g)	pH
Lana roccia	80-90	10-15	80-85	75-80	0-2	7-7,5
LECA	600-900	40-50	35-45	10-15	70-120	5-7
Perlite+torba	100-150	50-55	40-50	25-35	50-100	5-6
Perlite	80-120	50-60	30-35	10-15	1,5-4	7-7,5
Pomice+torba	400-500	20-30	60-65	20-25	50-100	5-6
Pomice	650-950	40-50	20-30	10-15	0-2	6,5-7,5
Torba bionda	60-100	30-35	60-70	35-45	100-200	2,5-4
Torba bruna	100-150	30-40	55-65	30-40	100-300	5-7
Torba nera	250-450	10-20	70-80	20-35	100-300	5,5-7,5
Vermiculite	90-150	35-40	45-50	7-10	80-150	6-7,2

1.7 I SUBSTRATI

1.7.1 Il substrato di coltivazione

Un substrato di coltivazione è qualunque materiale solido distinto dal suolo, naturale, di sintesi o residuale, organico o minerale, che, messo in contenitore, sia in forma pura che mischiato permette l'ancoraggio del sistema radicale della pianta, svolgendo per tanto un ruolo di supporto per la pianta. Il substrato può intervenire o meno nel complesso processo della nutrizione minerale della pianta (www.infoagri.com).

Un'altra citazione riguardante i substrati di coltivazione li definisce come un insieme di materiali, organici ed inorganici, che vanno a costituire il terreno artificiale sul quale si accrescono le piante coltivate in contenitore (Vezzosi, 2003).

Diversi materiali potrebbero essere utilizzati per la coltivazione di piante, ma in pratica vanno considerate alcune caratteristiche la cui risultante può favorire o precludere l'utilizzazione di un determinato tipo (Parente et al., 2000).

1.7.2 Tipologie di substrato

Fibra di cocco:

E' ottenuta attraverso la spazzolatura dello strato esterno della noce di cocco, ed è disponibile sul mercato in diversi formati e tipologie, in una pezzatura che varia da frammenti di pochi millimetri a lunghe fibre, venduto in sacchi, mattoni, pani o lastre: se acquistato in forma compressa necessita di essere lasciato in ammollo prima dell'uso.

E' un materiale molto duttile e versatile, è possibile acquistarlo già sagomato in forma di vaso di ogni forma e dimensione, o come un "tappeto" da ritagliare, utile per la germinazione anche in idroponica, o in comodi formati a disco con solco per il seme.

Il materiale è molto soffice, leggero e poroso, ad alto potere drenante, e trattiene quindi una grande quantità di aria che permette un'ossigenazione ottimale dell'apparato radicale durante tutto il ciclo vitale; per tale motivo si presta particolarmente ad alleggerire il terriccio, che notoriamente tende col tempo a compattarsi rendendo difficoltosa e stentata la crescita delle piante stesse. La composizione è molto omogenea e spugnosa e permette al cocco di assorbire acqua fino ad aumentare di 8-9 volte il suo volume a secco. Prima di essere immessa su mercato la fibra di cocco viene lavata e trattata, non contiene semi, funghi, fitoparassiti, insetti, nematodi e per tale motivo è da considerarsi

biologicamente sana: questo fatto, unitamente alle caratteristiche fisiche del materiale, scongiura la proliferazione di muffe, marcescenze e batteri nelle radici.

Dal punto di vista nutrizionale, il cocco è praticamente neutro: non contiene micro e macro elementi e rende indispensabile l'utilizzo di fertilizzanti specifici per il nutrimento della pianta.

In questo modo è possibile avere un controllo totale sulla fertilizzazione, contrariamente a quanto accade ad esempio col terriccio che è già ricco di sostanze non sempre identificate e quantificate.

La fibra di cocco possiede caratteristiche chimico-fisiche simili alle torbe bionde ma presenta alcuni vantaggi:

- Ha pH più elevato con valori vicini alla neutralità;
- Mantiene più a lungo le caratteristiche originarie, cioè subisce molto lentamente fenomeni di degradazione;
- Per le sue caratteristiche di scarsa ritenzione idrica assicura un elevato drenaggio; si può dire che questo substrato riassume le caratteristiche della torba per quanto riguarda la ritenzione idrica e pomice o perlite per il buon drenaggio e la sofficità.
- Ha un'estrema resistenza alla biodegradabilità grazie all'alto contenuto in lignina: la trasformazione in humus solubile nel terreno può durare molti anni (da 5 a 20) a seconda dell'attività biologica del terreno.

Ciononostante è un materiale eco-compatibile perché alla fine del suo ciclo vitale lo si può comodamente gettare nell'ambiente senza conseguenze per la salute dello stesso e di chi lo abita, oppure semplicemente mescolare con terreno per un suo ulteriore utilizzo in vaso per piante da giardino o per l'orto (Sanazzaro, 2008).

Sabbia:

E' costituita da piccoli frammenti di roccia, del diametro di 0,05 – 2 mm, originatesi dal disfacimento di vari minerali, la natura dei quali ne influenza sia la natura chimica che fisica. La sabbia utilizzata in orticoltura deve essere cristallina, di colore grigio chiaro, esente da limo e da ghiaia. Per i miscugli le sabbie migliori sono quelle fini con diametro di 0,05 – 0,5 mm, di origine fluviale o dunale, con particelle arrotondate e di dimensioni uniformi. La sabbia con particelle non uniformi si amalgama male con i rimanenti componenti dei miscugli, causando problemi al momento del rinvaso e scarsa compattezza; in alcuni casi sono impiegate per aumentare la capacità drenante del substrato.

L'aggiunta di sabbia alla torba diminuisce la tensione con cui il substrato trattiene l'umidità. Quando si aggiunge sabbia ad un substrato, l'acqua scorre più facilmente attraverso ad esso per cui sono ridotti eventuali rischi di asfissia radicale. La capacità di ritenzione idrica della sabbia varia in funzione delle particelle, anche il pH può subire delle oscillazioni in rapporto ai singoli componenti e soprattutto al contenuto di calcare; sabbia ricca di calcio è sempre da scartare per la scarsità di microelementi.

La capacità di scambio cationico è bassa, può essere aumentata con l'aggiunta di resine sintetiche.

La sabbia è usata nei miscugli con la torba o altro materiale organico, per substrati di coltivazione (Sanazzaro, 2008).

Pomice:

E' un materiale di origine vulcanica, leggero e poroso, usato da solo o in miscuglio con la torba nelle colture in contenitore. È un silicato di alluminio contenente piccole quantità di sodio e potassio e tracce di calcio, magnesio e ferro, la struttura tende a degradarsi a causa della facile rottura delle particelle.

E' in grado di trattenere calcio, magnesio, potassio e fosforo dalle soluzioni nutritive e di cederli gradualmente alla pianta.

La reazione è intorno alla neutralità. Commercialmente si trovano prodotti di diversa granulometria, per l'impiego in orto – floricoltura vanno preferiti quelli con particelle da 2 a 10 mm di diametro (Tesi 2001).

Vermiculite:

La vermiculite è un silicato idrato di magnesio alluminio, e ferro, che viene estratto soprattutto in Sud Africa e negli USA. Il materiale originale è formato da particelle suddivise in numerose lamelle sottili che trattengono minutissime particelle di acqua. Per ottenere il prodotto finale, il materiale originale viene trattato in forni ad una temperatura di 750 - 1000 ° C; in tali condizioni la particelle si dilatano (fino a 15 – 20 volte il loro volume) a seguito della formazione di vapore ed assumono una struttura porosa simile a quella delle spugne (a nido d'ape). Il prodotto finale risulta sterile e suddiviso in 4 classi granulometriche da 0,75 – 1 mm a 5 – 8 mm (Pimpini, 2001).

La vermiculite ha un'elevata porosità totale (95 % in volume) ma anche una scarsa resistenza alla compressione e tende a degradarsi nel tempo, favorendo il ristagno di acqua; per tale ragione è preferibile miscelarla con la torba o la perlite. Il pH può essere debolmente acido o neutro, ha un elevato potere tampone, alta disponibilità di nutrienti (5 – 8 % di potassio e 9 – 12% di magnesio), CSC simili a quelle delle migliori torbe le quali si differenziano per la maggiore disponibilità di nutrienti che ha la vermiculite.

L'elevato potere adsorbente si manifesta soprattutto nei confronti di ioni NH₄,

mentre è scarsa la capacità adsorbente nei confronti di Cl^- , NO_3^- e SO_4^- (Sanazzaro, 2008).

Queste considerazioni devono essere attentamente valutate quando si prepara un programma di fertilizzazione.

La vermiculite riesce a trattenere acqua fino a 5 volte il suo peso (Pimpini, 2001).

Perlite:

Questo materiale è di colore grigio biancastro, è prodotto con rocce vulcaniche silicee (Silicati di Alluminio). Il materiale grezzo, frantumato e fatto passare attraverso i crivelli, viene portato alla temperatura di 800°C , in modo da trasformare l'acqua contenuta nel materiale dallo stato liquido a quello gassoso dilatando così le particelle in piccoli grumi spugnosi a celle in parte chiuse.

La perlite, con un diametro delle particelle dai 3 – 5 mm, a m^3 pesa 110 – 130 Kg perciò è molto leggera, con una porosità elevata e quindi ha notevoli capacità drenanti. Essa ha un pH neutro, ma un potere tampone nullo. La capacità di scambio cationico è molto bassa (1,5 meq/100 g) e contiene il 75 % di silice ed il 13 % di idrossido di alluminio. Questo materiale può essere impiegato per la radicazione delle talee, in vivaismo e dai floricoltori. Può essere impiegata per molti anni purché venga setacciata e sterilizzata ogni anno. Il prodotto quando inizia ad alterarsi manifesta un mutamento di colore dal bianco al giallo. La perlite non viene impiegata da sola come substrato destinato alla semina perché ha una scarsa consistenza e una bassa coesione (Tesi 2001). Nel garofano allevato su perlite a pH inferiore a 5,0 sono stati rilevati effetti fitotossici per eccesso di alluminio; le calcinazioni riescono ad evitare questi inconvenienti (Sanazzaro, 2008).

Argilla espansa:

E' un materiale granulare inerte di colore marrone, usato come isolante termico in edilizia. Si ottiene riscaldando a $1000-1200^\circ\text{C}$ granuli di argilla

umida; l'acqua interna, evaporando, crea una elevata porosità totale (95 % in volume) che conferisce leggerezza al materiale (400 Kg/m³).

Questo materiale si è diffuso, soprattutto nella idrocoltura delle piante ornamentali in vaso per il facile drenaggio e la buona stabilità strutturale. Si impiegano granulometrie diverse a seconda della destinazione: 1 – 3 mm per la radicazione, 3 – 8 mm per vasi piccoli (diametro 10 – 16 cm), 8 – 12 mm per vasi più grandi (Tesi, 2001).

Lana di roccia:

Deriva dalla lavorazione di rocce (Diabasi 60 %, calcare 20 %, carbone 20 %) alla temperatura di 1500 – 2000 ° C, estruse in fili di 0,05 mm di diametro. In seguito il materiale va incontro ad una compressione ed all'aggiunta di resine fenoliche. Il materiale finito assume la struttura di un tessuto a basso peso specifico (80 Kg/m³) con il 96 % di porosità totale (in vol.) (Sanazzaro, 2008).

L'impiego è indirizzato verso semine o coltivazioni purché alimentato con soluzioni nutritive complete. In alcuni Paesi europei come la Danimarca è impiegato in miscuglio con la torba (Tesi, 2001).

1.8 SISTEMI APERTI E CHIUSI

L'obiettivo prioritario dell'operatore è quello di praticare un ciclo a basso impatto ambientale adottando una tecnica colturale integrata e riducendo il più possibile l'immissione nell'ambiente di prodotti di processo.

La gestione dell'impianto idroponico può essere a ciclo aperto o chiuso (Pardossi, 1993). Nel primo caso la conduzione è tecnicamente più semplice e meno costosa. La soluzione nutritiva, preparata sempre di fresco, viene formulata tenendo conto delle esigenze della pianta e delle caratteristiche dell'acqua che viene erogata con percentuali di drenaggio maggiori con l'aumentare della CE della soluzione. L'esperienza pratica ha mostrato che una frazione di drenaggio di almeno

25-30% è necessaria per evitare la salinizzazione del substrato (Tognoni et al, 2005). Il drenato in questo caso non viene riutilizzato per il ricircolo, mentre può essere utilizzato per irrigare colture in pieno campo.

Da un punto di vista ambientale, tuttavia, la tecnica non può essere considerata “pulita” in quanto se la soluzione iniziale non è ben formulata si disperde nell’ambiente una soluzione ancora ricca in elementi e per di più con un consumo di acqua elevato.

L’altra tipologia costituita dal sistema chiuso è più complessa non solo dal punto di vista tecnico – raccolta del drenato, disinfestazione e suo riequilibrio chimico – ma anche gestionale – interventi irrigui, concentrazione della soluzione, ecc. Un simile sistema non è di facile realizzazione: sono indispensabili una buona capacità manageriale dell’operatore, delle buone caratteristiche chimiche dell’acqua, nonché una impiantistica più complessa e quindi più costosa (Tognoni – Incrocci, 2003).

Nei sistemi a ciclo chiuso, la soluzione drenata viene raccolta e rimessa in circolo dopo un aggiustamento del pH e della concentrazione dei nutrienti (sulla base dell’EC). I sistemi chiusi sono stati ideati per evitare i problemi ambientali relativi all’elevato runoff dei nutrienti nei sistemi aperti. Un riutilizzo totale dell’acqua di drenaggio nei sistemi chiusi è possibile solo quando la concentrazione degli ioni nell’acqua di irrigazione è simile o inferiore alla concentrazione di assorbimento, data dal rapporto tra i nutrienti assorbiti e l’acqua assorbita dalla coltura (Tognoni et al, 2005).

È da non trascurare anche il problema sanitario. Il riciclo della soluzione favorisce la diffusione di eventuali parassiti presenti nella coltivazione e per questo è indispensabile intervenire con tecniche di disinfezione che permettono il contenimento della diffusione di patogeni. Oggi sono disponibili diverse tecniche (UV, temperatura, filtrazione ecc.) che riducono fortemente il problema sanitario.

Da un punto di vista chimico il riequilibrio della soluzione è fatto in modo empirico, visto che il calcolo differenziato per i singoli elementi comporterebbe analisi

complesse e non immediate a meno che non si disponga di sensori specifici per i diversi ioni che al momento sono abbastanza costosi e quindi nella economia generale mal sopportati. La tendenza prevalente, che è utilizzata dagli israeliani, è quella di ripristinare il consumo idrico alternativamente con soluzione nutritiva o con acqua finché la conducibilità totale della soluzione non raggiunge valori troppo elevati per la specie coltivata (2,5 dSm⁻¹ per la rosa e 5-6 dSm⁻¹ per il pomodoro). Raggiunto tale livello soglia la soluzione può essere utilizzata a cascata su specie più resistenti, in modo che – prima della sua immissione nell’ambiente – sia impoverita di quegli elementi che potrebbero avere un effetto negativo. Oggi si consiglia, nel caso in cui non sia possibile l’utilizzo a cascata, di prendere in esame la possibilità di effettuare, prima della sua eliminazione, una fitodepurazione con specie più resistenti.

Oggi si trovano sempre più spesso delle acque di partenza ad elevato contenuto salino e questo comporta l’impossibilità della gestione con sistema chiuso. L’arricchimento in “sali non essenziali” in questo caso sarebbe troppo rapido e quindi impossibile a gestire, pertanto è opportuno utilizzare preferibilmente acqua piovana o in casi estremi acqua deionizzata ottenuta mediante l’osmosi inversa. Un’altra alternativa è quella di adottare un sistema virtualmente chiuso dove la componente nutritiva aggiunta all’acqua è bassa e coincidente con il fabbisogno della pianta. In questo caso, anche se il sistema è aperto, l’apporto di elementi nutritivi all’ambiente è estremamente basso e può ritenersi non particolarmente dannoso (Tognoni – Incrocci, 2003).

1.9 L’AEROPONICA

L’aeroponica è una delle più recenti e promettenti frontiere della ricerca nel settore colture orticole e floricole in ambiente protetto.

Si tratta di una tecnica di coltivazione molto avanzata per allevare vegetali senza suolo (tab. 1.6).

In questo sistema le radici delle piante sono sospese in un contenitore dove un sistema di nebulizzazione le mantiene costantemente umide. Le piante sono sostenute da pannelli in materiale plastico (polistirolo) disposti orizzontalmente o su piani inclinati, e sostenuti a loro volta da una struttura portante inerte dal punto di vista chimico. La soluzione nutritiva viene spruzzata direttamente sulle radici, mediante nebulizzatori, con interventi che durano 30-60 secondi e con una frequenza variabile (40-80 interventi/giorno) in funzione delle condizioni climatiche di coltivazione, della specie, dello stato di crescita delle piante ecc.; la soluzione nutritiva è ricircolante (Malorgio, 2004).

Applicata razionalmente consente di ottenere enormi incrementi quantitativi e qualitativi della produzione; sensibili riduzioni nell'impiego di manodopera, fertilizzanti e acqua; drastica riduzione dei consumi energetici nelle culture in serra.

In aeroponica le funzioni di sostegno e approvvigionamento di acqua ed elementi nutritivi normalmente svolte dal terreno, sono assolte da "elementi portapiante", generalmente di materiale plastico, e da soluzioni nutritive di sali minerali.

In tal modo si possono variare a piacimento le posizioni del piano di coltivazione in modo da utilizzare razionalmente le superfici coperte disponibili; si può prescindere dalla fertilità del terreno ed evitare le operazioni ad essa collegate; si possono condizionare tutti i parametri del mezzo nutritivo (concentrazione dei nutrienti e loro rapporti reciproci, pH, temperatura, etc.) per ottenere i migliori risultati colturali.

Più in particolare, l'aeroponica è un sistema che mostra enormi potenzialità per la produzione di radici pulite, più uniformi e che maturano più velocemente rispetto alla tecnica di coltivazione convenzionale su terreno (tab. 1.7) (Ayala, Santamaria, 2005).

Tab. 1.6 - Differenza di produttività tra il sistema di coltivazione su terreno e in aeroponica

(Fonte: dati SAID)

Coltura	N° cicli/anno	Piante mq.	Kg/m ² /anno	SISTEMA DI COLTIVAZIONE
POMODORO	2 da 6 mesi	2,5	14-18	Terra Aeroponica
	11 mesi	3	20-25	
PEPERONE	2 da 6 mesi	2,5	7-10	Terra Aeroponica
	11 mesi	3	12-14	

Tab. 1.7 - Vantaggi dell'aeroponica rispetto alla coltivazione tradizionale sul terreno di colture da radice (fitochimici). (Da Ayala, Santamaria, 2005).

1. Densità di pianta più elevata per la mancanza di competizione per l'acqua e i nutrienti e per l'uso di una struttura ad A.
2. Maggiore produzione per unità di superficie.
3. Radici integre, pulite, senza terreno e parassiti che vivono nel terreno o adulterazioni da infestanti.
4. Cicli di coltivazione accelerati grazie all'aumentata velocità di crescita e di maturazione.
5. Potenzialità di aumentare la produzione di radici e dei relativi principi attivi (fitochimici) grazie all'uniformità di distribuzione dell'acqua e dei nutrienti, nonché al ridotto rischio di malattie.
6. Minore impiego di acqua e nutrienti grazie al ricircolo della soluzione nutritiva.
7. Indipendenza dal terreno e dal clima quando l'allevamento è in ambiente controllato.
8. Controllo preciso della zona radicale attraverso la manipolazione della composizione della soluzione nutritiva, della temperatura e dei mezzi utilizzati.
9. Possibilità di eseguire più raccolte di radici da una singola coltura perenne.

A differenza dell'idroponica, le piante cresciute in aeroponica mostrano sempre un buon sviluppo delle radici ed è possibile esaminare completamente il sistema radicale senza disturbarlo o danneggiarlo, ottenendo dei campioni puliti per analisi chimiche o istologiche senza interferenze dai substrati meccanici (Zobel et al., 1976).

Un'altra applicazione prevede l'utilizzazione dell'aeroponica per produrre efficacemente spore di funghi liberi di substrato. Il materiale radicale colonizzato può essere tosato e dare un inoculo con densità del propagulo molto elevata. Per produrre alberelli di acacia (*Acacia mangium* Willd.) associati con micorrize, l'aeroponica si è dimostrata più efficace del terreno (Ayala – Santamaria, 2005).

Inoltre, al di là della maggiore velocità di micorrizzazione dei funghi, questa tecnica consente di ottenere un aumento del contenuto di fosforo e di clorofilla nei

tessuti delle piante. Per questo, l'aeroponica è ritenuta una tecnologia innovativa e appropriata per produrre quantità notevoli di alberelli associati con microrganismi del terreno, quali i funghi micorriza, per la riforestazione di terre degradate nei tropici umidi (Martin-Laurent et al., 1999).

1.9.1 Green Line System

Il Green Line System è una tecnologia altamente innovativa che ridisegna e ripropone in termini nuovi la gestione delle coltivazioni fuori suolo in ambiente protetto.

L'applicazione di tecnologie avanzate permette un elevato grado di automatismo: in particolare il telecontrollo e la gestione da remoto via internet pongono il sistema a pieno titolo tra le più interessanti innovazioni tecnologiche in agricoltura.

Il sistema consente di:

- minimizzare le tare improduttive all'interno delle serre;
- raggiungere un livello di illuminazione uniforme e costante;
- produrre, con la stessa impiantistica, il maggior numero possibile di specie orticole e floricole con prodotti di alta qualità ed immagine riducendo notevolmente l'uso di pesticidi;
- eliminare il problema delle alghe e del marciume radicale che si producono nelle coltivazioni fuori suolo;
- garantire semplicità di installazione, manutenzione, automazione degli impianti;
- modernizzare l'organizzazione del lavoro agricolo;
- aumentare la salvaguardia ambientale evitando la dispersione nel terreno di fertilizzanti, erbicidi e pesticidi;
- realizzare una soluzione nutritiva a ricircolo in grado di adattarsi al maggior numero possibile di coltivazioni orticole e floricole;
- risparmiare energia, manodopera e soprattutto acqua fino all' 80-90%;

- controllare attraverso un sistema computerizzato e di sensori l'intero ciclo climatico e nutrizionale della produzione (www.aeroponic.it).

1.9.2 Sistema aeroponico a canaletta

Il sistema aeroponico a canaletta è composto da un'unità centrale elettronica ed altre unità periferiche, per un massimo di quattro (fig. 1.5 e fig. 1.6).

Le canalette sono larghe 26 cm e sono sistemate con una pendenza del 2-3‰, la quale può essere modificata a seconda delle esigenze della specie coltivata. Il pomodoro, ad esempio, richiede grandi quantità d'acqua e la pendenza deve essere adatta all'allontanamento del surplus idrico.

All'interno delle canalette, e con partenza da una testata, è collocato un tubo con dei gocciolatori (fig. 1.7) che fanno scorrere la soluzione nutritiva attraverso le radici che non sono immerse in alcun substrato. Dalla parte opposta, è situato il tubo di drenaggio, per riportare la soluzione nella cisterna di partenza. La canaletta è chiusa in alto dove vengono poste le piante a radice nuda con un pannello di polistirolo bianco con aggiunta verso l'interno di una guaina di materiale plastico nero (www.aeroponic.it).



Fig. 1.5 *Impianto GLS Family con:*
 - *Struttura in tubi cromati, completamente smontabile.*
 - *Vasca per soluzione nutritiva*

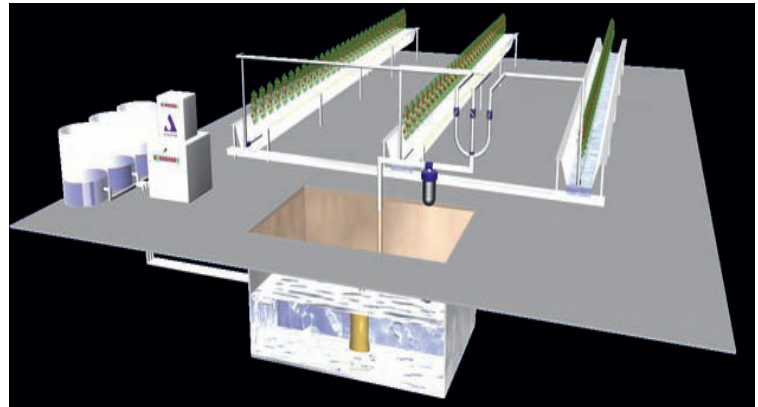


Fig. 1.6 - *Supporti per canalette*
 - *Generatore automatico di corrente (6 KVA)*
 - *Gruppo di continuità UPS 400 VA*
 - *Sistema di allarme con avvisatore telefonico*
 - *Flaconi (1000 ml) per soluzione nutritiva*

(Fonte: www.aeroponic.it)



Fig. 1.7 - *Rappresentazione del sistema a canaletta (Fonte: www.aeroponic.it).*

1.9.3 Le soluzioni strutturali

Con il Green Line System vi è una riduzione delle tare improduttive da 40-50% al 15-20% attraverso linee di coltura mobili. Le soluzioni tecniche adottate sono state studiate per ottenere una grande adattabilità ad eventuali strutture pre-esistenti.

Il sistema di soluzione nutritiva riciclata permette di evitare i gravi problemi di inquinamento ambientale dovuto alla soluzione nutritiva esausta rilasciata nel terreno e lo spreco di acqua legato alle pratiche attualmente più in uso.

La tecnica a “ciclo chiuso” consente il superamento dei problemi legati ad altre forme di gestione della soluzione nutritiva quali il ciclo aperto o il semi-chiuso (gestione che prevede l’accumulo momentaneo della soluzione percolata in contenitori dove avviene la rigenerazione per una successiva rimessa in circolo).

La soluzione nutritiva riciclata consente quindi risparmi idrici totali (www.aeroponic.it).

1.9.4 La gestione computerizzata

La gestione integrata e computerizzata dei fattori climatici può produrre un risparmio energetico e di manodopera valutabile intorno al 30%.

Il Green Line System è provvisto di un programma in grado di controllare sistematicamente ed in tempo reale, sia i diversi parametri climatici (temperatura, luminosità, umidità, CO₂, pH) che la soluzione nutritiva (www.aeroponic.it).

Il personal computer che controlla il Green Line System è stato realizzato interamente dalla società SAID S.p.A.

1.9.5 I risparmi

Oltre all’importante diminuzione dell’uso di acqua (tab. 1.8), che se riscaldata, consente risparmi energetici valutabili attorno al 25%, e di fertilizzanti, vanno valutati anche le riduzioni d’impiego di manodopera rispetto alle tecniche di coltivazione su terra, necessaria per l’esecuzione delle operazioni colturali quali: aratura, erpicatura, rinalzatura e diserbo (tab. 1.9).

Inoltre, si realizza anche una significativa riduzione dei trattamenti antiparassitari, rendendo le coltivazioni aeroponiche maggiormente salutari rispetto a quelle tradizionali e idroponiche (dati SAID).

Tab. 1.8 – Confronto dei costi produttivi del pomodoro tra diversi sistemi di coltivazione e il sistema aeroponico a “canaletta”(Fonte: dati SAID).

	Suolo	Soluzione a perdere	Riuso drenaggio	Aeroponica “a canaletta” (*)
Acqua (€/Ha)	9.015,18	10.517,71	7.362,40	3.579,18
Fertilizzanti (€/Ha)	1.298,19	4.243,15	3.258,69	2.078,32
Trattamenti fitosanitari (€/Ha)	2.584,35	1.141,92	1.141,92	228,38
Totale (€/Ha)	12.897,72	15.902,78	11.763,01	5.885,89
Produzione (kg/Ha)	120.000	198.000	198.000	287.000
Costo/kg (€/Kg)	0,11	0,08	0,06	0,02

(*)Dati reali raccolti nell’impianto SAID nelle Canarie

Tab. 1.9 – Confronto dei costi produttivi del pomodoro tra diversi sistemi di coltivazione e il sistema aeroponico a “canaletta”(Fonte: dati SAID).

	Suolo	Soluzione a perdere	Riuso drenaggio
Costi aggiuntivi dei sistemi tradizionali ⁽¹⁾	25.011,12	17.249,05	11.208,88
Mancata produzione rispetto al sistema Aeroponico ⁽²⁾	70.258,32	37.443,06	37.443,06
		Tot	
	95.269,44	54.692,11	48.651,94

⁽¹⁾Formula: produzione di tipo Aeroponico x [(costo/kg per produzione di tipo tradizionale) – (costo/kg per produzione di tipo Aeroponico)]

⁽²⁾Formula: [(produzione di tipo Aeroponico – produzione tradizionale) x prezzo di vendita/kg⁽³⁾]

⁽³⁾Prezzo di vendita: 0,42 €

1.9.6 Altre tipologie di impianti aeroponici

Un'altra risoluzione aeroponica è quella denominata a superfici inclinate e verticali. In tale sistema le piante vengono portate e sorrette da fogli di polistirolo espanso, sui quali sono stati praticati dei fori per inserire il vegetale da coltivare. La soluzione nutritiva viene somministrata attraverso degli spruzzatori i quali hanno il compito di bagnare le radici che rimangono sospese nell'aria. Il sistema a superfici inclinate è composto da un'intelaiatura metallica formante un triangolo equilatero (vedi fig. 1.8).

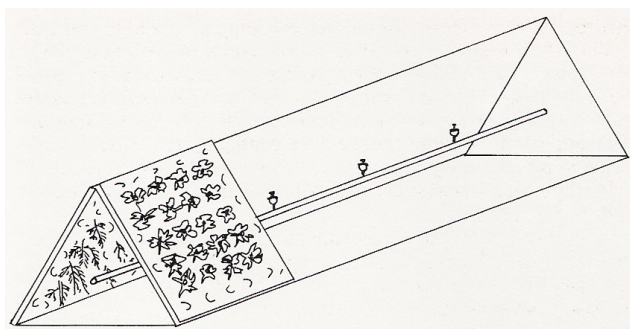


Fig. 1.8 - Schema costruttivo di un elemento aeroponico a superfici inclinate (Vincenzoni, 1988).

Un lato dello stesso poggia a terra su di un piano leggermente inclinato sul quale è stato teso un film plastico, ai fini di poter recuperare la soluzione in eccesso e riciclarla. L'irrigazione alle radici è assicurata da un tubo fissato all'interno dell'intelaiatura e portante degli spruzzatori. Al comando di un temporizzatore si avvia una pompa e la soluzione, attraverso gli spruzzatori, irroro le radici delle piante che sono inserite nei fori dei due fogli di polistirolo sistemati ai due lati inclinati dell'intelaiatura. Con questo sistema la superficie coltivabile viene a raddoppiarsi (Massantini, 1962).

Con un altro sistema a superfici verticali (fig. 1.9), si usano ugualmente i fogli di polistirolo. L'impianto consiste nel sistemare sopra a delle canalette fatte di legno e ricoperte con del materiale plastico, i pannelli di polistirolo uno di fronte all'altro (lasciando fra i medesimi uno spazio di 10 cm) sorretti con un sistema di tiranti. In questo modo si formano delle linee che vengono orientate longitudinalmente da Nord a Sud.

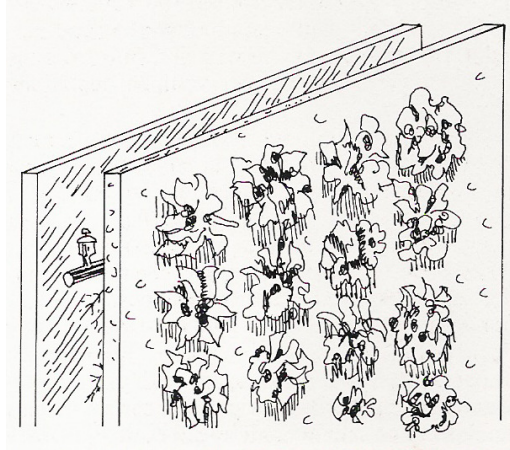


Fig. 1.9 - Schema costruttivo di un elemento aeroponico a superfici verticali (Vincenzoni, 1988).

L'alimentazione è fornita da una tubazione inserita alla sommità di ogni linea di pannelli e sulla quale vengono assicurati degli spruzzatori. Il tutto è collegato con un serbatoio per il deflusso della soluzione.

Questi due sistemi appena descritti sono stati messi a confronto, ed è risultato più produttivo il sistema a pannelli inclinati rispetto a quello con pannelli verticali. Questo è dovuto alla minore illuminazione delle zone più basse dei pannelli verticali. Tale affermazione è dimostrabile confrontando le produzioni delle piante più vicine al suolo con quelle inserite nelle zone più alte dei pannelli. Questi sistemi hanno il limite di consentire di allevare solo piante a sviluppo ridotto (fragole, insalata) dato che manca un sistema di ancoraggio. Inoltre, questi due sistemi aeroponici, hanno un denominatore comune, ovvero quello di coltivare un numero esiguo di specie vegetali, e quello di non consentire una uniforme e costante illuminazione a tutte le piante coltivate (Vincenzoni, 1988).

2. SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del seguente lavoro è stato quello di valutare le possibilità di crescita di giovani piante di abete rosso (*Picea abies* (L.) Karst) in ambiente controllato (serra) tramite l'impiego di un metodo aeroponico di apporto di soluzione nutritiva.

L'utilizzo del sistema aeroponico nell'allevamento di piantine giovani può risultare vantaggioso nel ridurre il tempo di stazionamento in vivaio.

Confrontando queste piante con altre coetanee cresciute in terra e collocate in vasi sia in ambiente esterno che all'interno della serra, si è voluto valutare le eventuali differenze nella crescita.

3. MATERIALI E METODI

3.1 MATERIALE VEGETALE

Presso il centro vivaistico di Montecchio Precalcino (VI), si è provveduto all'acquisizione di 20 piantine di abete rosso di 4 anni (S3/T2), di circa 30 cm di altezza e 1.2 cm di diametro, originarie del Comelico (BL).

Le piantine sono state separate dal pane di terra e si è proceduto con la messa a dimora di 10 di queste piantine nell'impianto aeroponico GLS Family all'interno della serra dell'azienda SAID S.p.A. a Isola Vicentina il giorno 22/01/2009, mentre le altre 10 sono state messe in vasi riempiti con torba acida (C organico: 40%, N: 0.6%, sostanza organica: 80%) miscelata con terreno. A loro volta, 5 di queste piante in vaso sono state messe all'esterno della serra, in modo da poter confrontare la capacità di crescita dell'abete rosso in 3 diverse situazioni: in aeroponica, in vaso con la stessa temperatura e umidità dell'aria delle piante in aeroponica all'interno della serra e in vaso fuori serra.

Inoltre, in serra era presente un altro impianto aeroponico dotato di 20 piantine di abete rosso di 2 anni (S1/T2) provenienti da Val Melegrio (TN) e messe a dimora tra il giorno 25/11/2008 e il 9/12/2008.

Nel testo si utilizzerà "Primo impianto" intendendo l'impianto dove sono state poste le piante provenienti da Val Melegrio, mentre "Secondo impianto" le piantine di abete provenienti dal Comelico.

3.2 SOLUZIONE NUTRITIVA, pH, TEMPERATURA

La soluzione nutritiva che è stata fornita alle piante nei due sistemi aeroponici risulta essere la seguente:

Madre A (in 40 L di acqua proveniente dall'acquedotto di Isola Vicentina)

- Nitrato di Calcio: 240 g
- Ferro DTPA: 0.12 g

Madre B (in 40 L di acqua proveniente dall'acquedotto di Isola Vicentina)

- Potassio Fosfato Monobasico: 60 g

Microelementi (in 40 L di acqua proveniente dall'acquedotto di Isola Vicentina)

- Boro Acido: 604 g
- Manganese Solfato: 2500 g
- Molibdato di Ammonio: 136 g
- Rame Solfato: 132 g

Il pH della soluzione nutritiva è stato portato attorno al 4 - 4.5 mediante l'utilizzo di acido nitrico. Le aggiunte di Madre A e Madre B (in 100 L di acqua) sono state eseguite per portare la conducibilità elettrica fino a valori di 700 – 750 μ S.

Dopo aver proceduto con queste operazioni si sono aggiunti 100 ml di soluzione di microelementi.

Le condizioni di pH della soluzione nutritiva sono state mantenute mediante l'aggiunta di acido solforico diluito all'1%.

Per quanto riguarda le condizioni climatiche in serra al momento della messa a dimora delle piantine, sono risultate essere le seguenti:

- Temperatura: 22 - 24°C diurni, 18 - 20°C notturni
- Umidità: 60 – 80 %.

3.3 MODALITA' DI MISURAZIONE DEI GETTI

Di ogni pianta si è misurata l'altezza e la lunghezza dei getti, procedendo ogni 15 giorni circa con nuove misurazioni tramite l'utilizzo di un calibro. Quando i tassi di

accrescimento sono risultati più regolari e di minore entità, le misurazioni sono state condotte una volta ogni 30 giorni circa.

Le piante sono state misurate nel seguente ordine:

- Si è partiti dalla prima canaletta a sinistra dell'impianto aeroponico GLS Family iniziando dal primo foro posizionato in basso e risalendo verso l'alto, per poi spostarsi nella canaletta adiacente (vedi fig. 3.1);

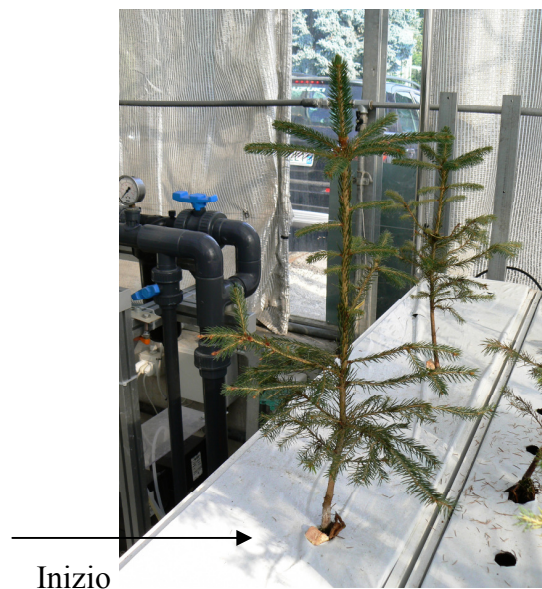


Fig. 3.1 - Piante di abete rosso nel sistema GLS Family

- In ogni pianta si è collocato sul primo ramo laterale (partendo dall'apice) un nastro in modo da poter avere un punto di riferimento nel contare i rami;
- Nella singola pianta si è misurato il getto apicale e poi, scendendo, si è misurato per ogni ramo laterale i singoli getti.

I rami presenti sullo stesso nodo sono stati identificati col numero del nodo stesso, con l'aggiunta di gradi che andavano ad aumentare procedendo in senso antiorario, utilizzando come punto di riferimento il nastro (vedi fig. 3.2);



Fig. 3.2 - Nastro collocato sul primo ramo della pianta partendo dall'apice ed esempi di numerazione dei rami.

Inoltre, il ramo col nastro, essendo il primo ramo riscontrato partendo dall'apice all'inizio di questo studio, è stato chiamato "1". Di conseguenza, tutti i rami sottostanti sono stati chiamati "2", "3", ecc. a seconda della loro posizione lungo il fusto.

Ai rami che sono nati in seguito al di sopra del ramo "1" sono stati invece assegnati numeri romani, dove "I" è il primo ramo situato sopra "1", "II" è il secondo ramo nato sopra "I" e così via.

Durante il corso delle misurazioni è capitato di trovare dei nuovi getti formatisi tra due rami (o getti) già numerati. Per non sconvolgere tutti i dati precedentemente annotati, a questi nuovi getti è stato assegnato il numero del ramo (o getto) sovrastante seguito dal simbolo cancelletto "#" e dal numero del ramo (o getto) sottostante. Ad esempio, se un nuovo getto si formava tra il ramo 3 e il ramo 4, esso veniva denominato 3#4.

- In caso di diramazione il getto centrale è stato chiamato "a", mentre quelli laterali sono stati chiamati "b", "c" ecc (fig. 3.3).

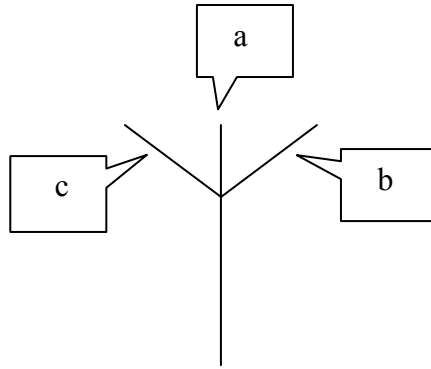


Fig. 3.3 - Schematizzazione di un getto ramificato.

- In presenza di altre ramificazioni oltre alla “c” si è proceduto assegnando le successive lettere dell’alfabeto (fig. 3.4).

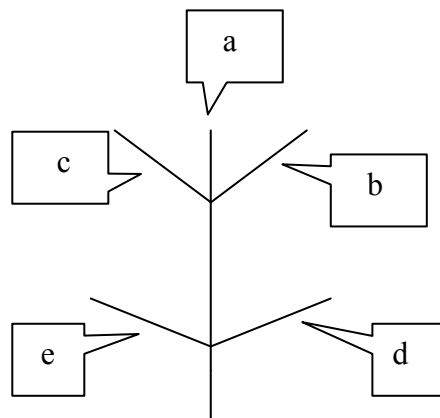


Fig. 3.4 - Schematizzazione di un getto ramificato.

- Spesso dai nuovi getti dell’anno si sono formati degli ulteriori getti. Di conseguenza tutti i secondi nuovi getti dell’anno sono stati chiamati “a^{1°}”. Se a sua volta “a^{1°}” si ramificava, si è proceduto con lo stesso metodo sopra esposto, chiamando b^{1°}, c^{1°}, ecc. le successive ramificazioni (fig. 3.5).

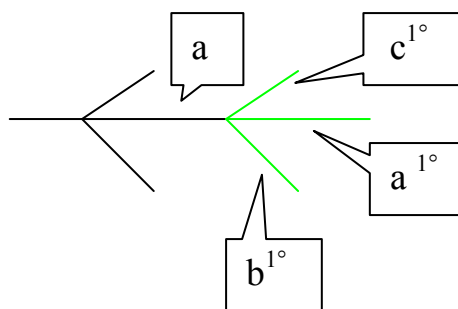


Fig. 3.5 - Schematizzazione di un getto ramificato con i secondi nuovi getti dell'anno rappresentati in verde.

3.4 ANALISI CHIMICHE

In laboratorio si è analizzata la composizione chimica del suolo presente nei vasi contenenti le piantine di abete rosso.

Si sono prelevati 800 g di torba acida e 100 g di pane di terra, sono stati mischiati e metà di questo insieme è stata setacciata prima di eseguire le analisi.

3.4.1 Sostanza secca, sostanza organica, umidità e pH

Si sono prelevati due campioni di suolo setacciato di 2 g, sono stati sommati alla tara del crogiolo e si sono messi in stufa a 105°C per 24 ore.

La sostanza secca è data dalla differenza tra il peso dei campioni dopo un giorno a 105°C e la tara iniziale del crogiolo.

Per l'analisi delle ceneri e del contenuto di sostanza organica, si è proceduto con la calcinazione sotto cappa, scaldando i campioni su piastra a 200°C per circa 4 ore. Dopodiché i campioni sono stati portati a 550°C per 24 ore. In questo modo le ceneri risultano derivare dalla differenza tra il peso dei campioni dopo i 550°C e la tara iniziale.

La sostanza organica, invece, si ottiene dalla differenza tra il peso della sostanza secca e quello delle ceneri, mentre per quanto riguarda l'umidità, essa risulta derivare dalla differenza tra il peso iniziale del suolo setacciato e il peso della sostanza secca.

Per quanto riguarda il pH, si è usato un rapporto di estrazione 1: 20, utilizzando quindi 2 g di substrato e 40 ml di H₂O deionizzata e KCl.

3.4.2 Determinazione dell'azoto totale (Metodo Kjeldahl)

Il metodo si basa sulla trasformazione dell'azoto organico in ammoniaca mediante digestione in acido solforico e catalizzatore. Quindi si procede al dosaggio dell'ammoniaca previa distillazione. Per fare ciò, inizialmente, si sono prelevati due campioni di suolo setacciato da 0,5 g e uno da 1 g, ponendoli in protettori di vetro.

Sotto cappa aspirante si è presa con una pinzetta una pastiglia di catalizzatore al selenio e la si è introdotta in un provettone. Sempre sotto cappa si è prelevato con una pipetta 10 ml di acido solforico concentrato (96%) e lo si è versato all'interno del provettone. Quest'ultimo lo si è poi inserito nel mineralizzatore e vi è stato lasciato per circa 2 ore, fino alla formazione di un deposito bianco-latte.

Una volta raffreddato il provettone, si sono aggiunti 50 ml di acqua deionizzata. Successivamente, si è riempita una buretta con una soluzione di acido cloridrico 0.1 N, si è versato in una beuta di vetro 25 ml di acido cloridrico a cui sono stati aggiunti 75 ml di acqua deionizzata e si è posta la beuta nel distillatore.

Il provettone è stato poi posto sull'apposito alloggio nel distillatore e si è alcalinizzato il campione facendo scendere un certo quantitativo di soda al 33%. Si è distillato il campione in corrente di vapore acqueo e infine si è titolata la presenza residua di acido cloridrico dopo la distillazione mediante la soluzione di idrossido di sodio 0.1 N in presenza di alcune gocce di indicatore rosso di metile.

I risultati sono stati ottenuti con la formula:
$$N\% = \frac{(25 - ml\ NaOH\ corretti) * 1,4}{mg\ di\ terreno\ usati} * 100$$

3.4.3 Capacità di scambio cationico (metodo al bario cloruro non tamponato)

Si sono pesati due campioni di terreno da 2 g e si sono posti in un tubo da centrifuga tenendo conto del peso del tubo+suolo. Con una pipetta si sono aggiunti 25 ml di soluzione di cloruro di bario e si è chiuso il tubo, agitandolo per 3 minuti.

Ogni campione è stato centrifugato e si è raccolto il liquido limpido, ripetendo il trattamento altre due volte unendo il liquido al precedente. Si è poi lavato il tubo con 25 ml di acqua deionizzata e si è centrifugato, scartando l'acqua e pesando di nuovo il tubo contenente il suolo umido.

Successivamente si sono aggiunti 25 ml di solfato di magnesio, si è chiuso il tubo con il tappo, si è disperso accuratamente il suolo e si è agitato a mano. Si è nuovamente centrifugato e poi con una pipetta si sono prelevati 10 ml del liquido limpido (senza disturbare il sedimento) e si sono posti in una beuta da 250 ml.

Dopo aver aggiunto 100 ml di acqua, 10 ml della soluzione tampone ed una punta di spatola di indicatore, si è titolato con soluzione EDTA fino a colore azzurro.

I risultati in ppm sono stati portati all'unità di misura meq/100 g con la formula:

$$meq/100 = \frac{ppm * ml\ solvente}{g\ terreno * pe}$$

dove $pe = PM/valenza$ del catione.

3.4.4 Estrazione dei pigmenti fotosintetici

Si sono prelevate 3 piantine di abete rosso in aeroponica e 4 in vaso, di cui 2 collocate all'interno della serra e 2 all'esterno. Dopo aver delicatamente sfilato dall'impianto aeroponico le piantine, le radici sono state asciugate tramite carta assorbente e si è posta l'intera pianta in sacchetti di nylon all'interno di una borsa frigo in modo da poter preservare la pianta durante il trasporto dalla serra al laboratorio. Lo stesso procedimento è stato applicato per le piantine in vaso dopo aver eliminato la terra dalle radici e dopo averle lavate con cura.

In laboratorio si sono poi pesati 100 mg di tessuto fogliare, prelevati sia dai getti dell'anno che da quelli degli anni precedenti. Per ogni pianta si è fatto un doppio campionamento, sia sugli aghi nuovi che in quelli vecchi, ad eccezione delle piante primo allevamento aeroponico, poiché, essendo più giovani rispetto alle altre, avevano minori quantità di aghi vecchi da prelevare.

Si è poi utilizzato dell'azoto liquido in modo da ghiacciare gli aghi per poterne estrarre con maggiore efficacia la clorofilla tramite l'impiego del pestello e del mortaio e sono stati aggiunti 10 ml di etanolo 96%. Successivamente, i campioni sono stati lasciati al buio per 48 ore a 4° C fino a completa depigmentazione.

Dopo la filtrazione dei campioni, è stato analizzato il contenuto dei pigmenti fotosintetici tramite lo spettrofotometro alle lunghezze d'onda 665 nm (Clorofilla a) e 649 nm (Clorofilla b).

La concentrazione dei due tipi di pigmenti è stata calcolata usando le seguenti equazioni (Welburn e Lichtenthaler, 1984):

Clorofilla a (g) = (13.95 * A665 – 6.68 * A649) * volume etanolo / peso fresco

Clorofilla b (g) = (24.96 * A649 – 7.32 * A665) * volume etanolo / peso fresco

3.4.5 Analisi del contenuto di N, C e S negli aghi

Dalle stesse piante in cui si è effettuata l'estrazione dei pigmenti fotosintetici, sono stati prelevati 0.3 g di aghi sia dai getti dell'anno che da quelli degli anni precedenti e sono stati messi in stufa a 90°C per un giorno. Successivamente, si è aggiunto dell'azoto liquido e si sono pestellati gli aghi. Si è poi provveduto a mettere 0.04 g di ogni campione all'interno di una navetta di cromo insieme a 0.2 g di ossido di tungsteno e si è pressato il tutto, ottenendo un piccolo dischetto inserito all'interno di un analizzatore elementare (Vario MACRO, Macro Elemental Analyzer, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germania).

3.5 SVILUPPO DI SEMENZALI DI ABETE ROSSO

In una successiva fase del lavoro si sono messi a dimora dei semi di abete rosso su di un letto di sabbia fine di 2-3 cm, ricoperti con uno strato di sabbia (circa 0,5 cm) e con della stagnola e poi posti in una cella frigorifera.

Ogni tre giorni circa si è proceduto con la somministrazione, tramite l'uso di una pipetta da 5000 μl , di una parte di una soluzione nutritiva composta in 500 ml di volume finale da:

- 110 μl di KNO_3
- 180 μl di $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
- 140 μl di MgSO_4
- 150 μl di KH_2PO_4
- 150 μl di Fe EDTA
- 5 μl di microelementi
- acqua deionizzata

Una volta cresciute, dopo aver emesso il primo getto, le piantine sono state trasferite in serra, all'interno di vasi contenenti torba acida e piccole quantità di sabbia per limitare lo shock del travaso.

Dopo circa due mesi, per incrementare lo sviluppo è stata somministrata una dose di 1.5 g di fertilizzante (15% di azoto totale, di cui 4.5% acido nitrico e 10.5% acido ammoniacale) diluito in un litro di acqua.

Raggiunta la lunghezza radicale di almeno 10 cm, le plantule sono state trasferite in serra ad Isola Vicentina, dove sono rimaste una settimana nei loro stessi vasi per potersi acclimatare al nuovo ambiente. Successivamente si è proceduto con l'estrazione dai vasi di ogni singola piantina e con la messa a dimora nell'impianto aeroponico (fig. 3.6), ponendole prima all'interno di un pezzo di gommapiuma per poterle fare aderire meglio ai fori presenti nell'impianto (fig. 3.7).

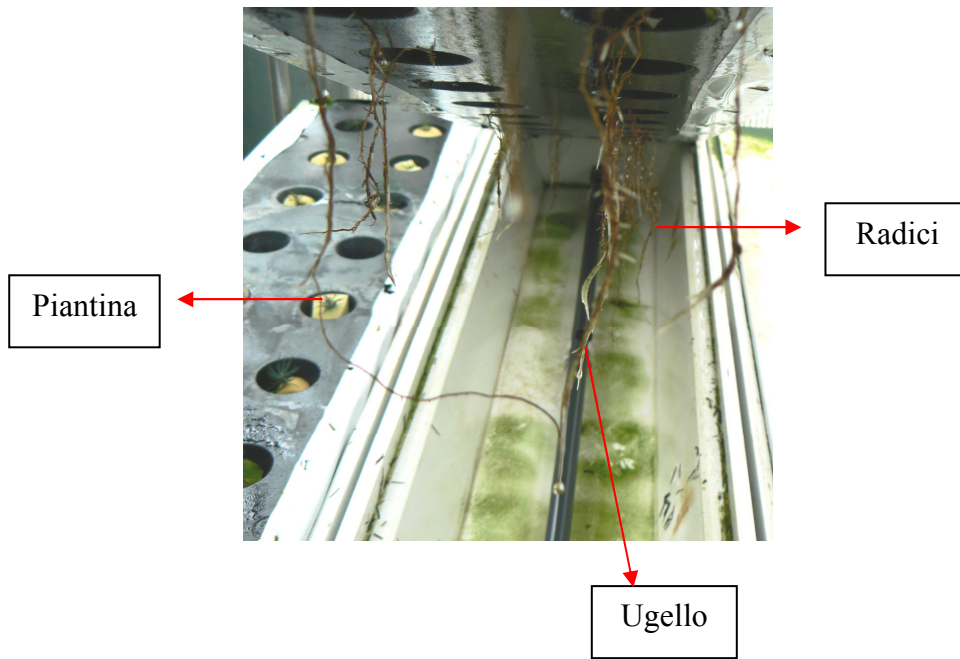


Fig. 3.6 - Immagine di piantine di abete rosso immerse nel sistema aeroponico. A sinistra: plantule circondate da gommapiuma all'interno dei fori dell'impianto; a destra: radici delle plantule ed ugello.



Fig. 3.7 - Piantine di abete rosso poste all'interno di pezzi di gommapiuma in un impianto aeroponico.

Dopo venti giorni di trattamento col sistema aeroponico i primi risultati di crescita si sono osservati lungo l'apparato radicale (fig. 3.8).

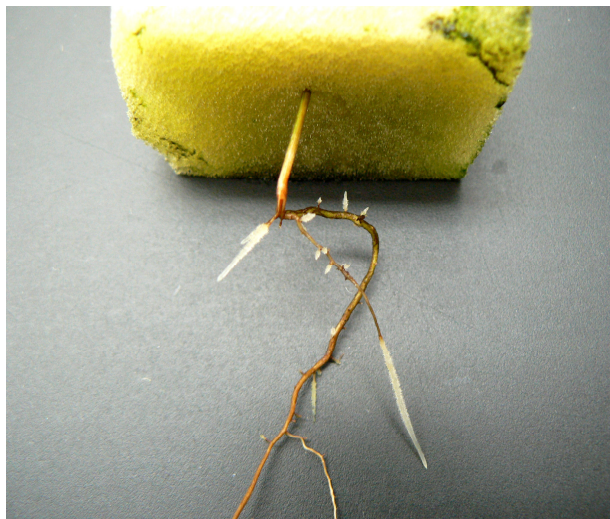


Fig. 3.8 - Radici nate dopo 20 giorni di trattamento col sistema aeroponico.

4. RISULTATI

4.1 ANALISI DEL TERRENO

Il terreno utilizzato per l'allevamento in vaso delle piantine di *P. abies* è stato caratterizzato per il contenuto di sostanza secca (ss), di sostanza organica (so) e per il pH (tab. 4.1).

Tab. 4.1 - Valori di sostanza secca (%), sostanza organica (%), di pH, di azoto totale (‰) e di CSC (meq/100g terreno) nel terreno.

	ss (%)	so (%)	pH H ₂ O	pH KCl	N ‰ (gN kg ⁻¹ suolo)	CSC (meq/100g di suolo)
Terreno	87,20	80,55	4,80	3,75	9,69	28,24

Il contenuto di sostanza organica presenta valori elevati, in quanto il terreno analizzato è costituito prevalentemente da torba contenente un 80 % di sostanza organica. Il pH rilevato è molto simile a quelli riscontrati in peccete su substrati silicatici del Nord Italia, mentre l'analisi dell'azoto totale del terreno risulta pari a 0,97 %, valore sicuramente non molto consistente. Per quanto riguarda il valore di CSC, esso appare elevato, così come riportato da Sbaraglia e Lucci (1994) (tab. 4.2) e questo può essere correlato al cospicuo contenuto di sostanza organica presente nella torba.

Tab. 4.2 - Valori di CSC e relativa valutazione (da Sbaraglia e Lucci, 1994)

CSC (meq/100g di suolo)	Valutazione
Inferiore a 5	Molto bassa
Tra 5 e 10	Bassa
Tra 10 e 20	Media
Superiore a 20	Alta

4.2 PARAMETRI MORFOLOGICI

Per ogni sistema di crescita (in aeroponica, in vaso fuori e dentro serra) si sono condotte diverse misurazioni riguardanti il numero e la lunghezza dei getti.

Si sono considerati tutti i singoli getti nati durante il periodo dello studio, in modo da poter avere una base di confronto.

4.2.1 Primo allevamento aeroponico

Le piante in aeroponica del primo impianto hanno dato origine mediamente a 5.6 getti nuovi, collocati tutti al di sopra del primo ramo (già esistente al momento dello studio) rispetto all'apice, con un massimo di 11 e un minimo di 2 getti, con una media di 1.8 gemme per palco e con un valore medio di accrescimento di 347.21 mm (fig. 4.1 e tab. 4.3).

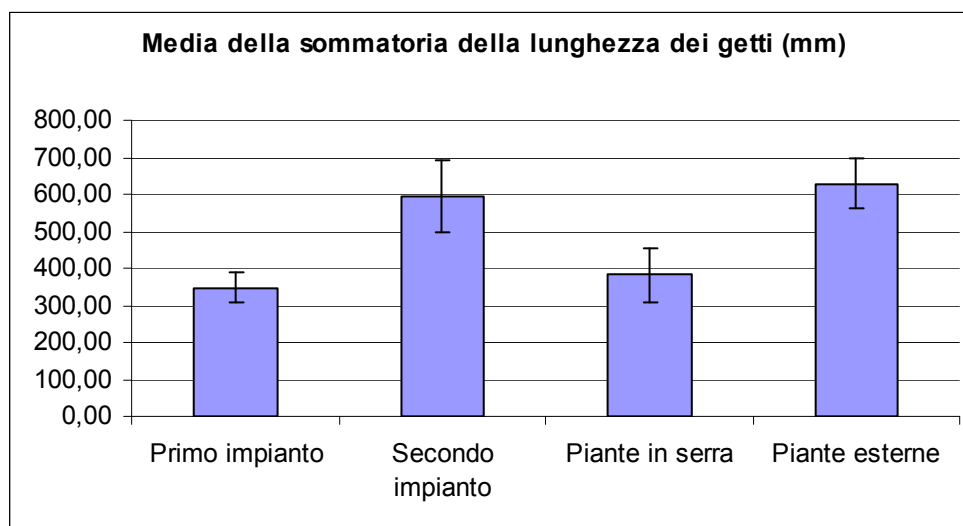


Fig. 4.1 - Media della sommatoria (Σ) della lunghezza dei getti laterali dell'anno con errore standard.

Tab. 4.3 - Numerosità di ogni campione nelle diverse tipologie di crescita.

	1° impianto	2° impianto	Piante in serra	Piante esterne
n	19	4	5	5

Per quanto riguarda il getto apicale, di seguito (tab. 4.4) sono riportati i valori medi (in mm) che hanno assunto le piante nel corso dell'anno.

Tab. 4.4 - Media della sommatoria (Σ) della lunghezza del getto apicale delle piante del primo e del secondo impianto aeroponico e di quelle in vaso interne alla serra ed esterne ad essa nelle diverse misurazioni effettuate in corso d'anno.

	03/02	18/02	02/03	16/03	30/03	14/04	11/05	15/06	15/07	01/10
1° imp.	12,80	21,32	34,07	41,80	47,09	51,86	62,82	71,58	75,02	75,53
2° imp.	0	0	3,41	23,34	41,25	42,91	43,31	43,31	43,31	43,31
Vaso int.	0	0	0	9,82	27,02	27,79	29,02	29,02	35,27	35,34
Vaso est.	0	0	0	0	0	5,87	17,61	30,93	50,88	51,34

Essendo queste piante già sottoposte da novembre al trattamento aeroponico, si sono subito riscontrati valori di accrescimento del getto apicale.

Dalla tabella 4.4 si può notare che a metà febbraio la lunghezza media è quasi raddoppiata rispetto ai precedenti quindici giorni, mentre a marzo i valori di crescita sono risultati doppi rispetto a febbraio. Da aprile a giugno la lunghezza media è passata da circa 51,86 mm a 71,58 mm. La crescita si è poi attenuata, raggiungendo a luglio i 75 mm e rimanendo quasi invariata fino ad ottobre. Tale riduzione nella crescita è probabilmente avvenuta sia per le elevate temperature all'interno della serra, sia per l'approssimarsi alla fine del periodo vegetativo.

4.2.2 Secondo allevamento aeroponico

Le piante in aeroponica del secondo impianto hanno dato origine mediamente a 12 getti nuovi, con un massimo di 15 e un minimo di 9 getti per pianta, presentando una singola gemma per ogni palco ed un valore medio di accrescimento pari a 595.49 mm (fig. 4.1).

Come si può notare dalla tabella 4.4, le piante hanno dato i primi segnali di crescita dopo poco più di un mese dalla collocazione all'interno dell'impianto. Inizialmente la crescita è stata limitata ma, già da metà marzo, lo sviluppo apicale ha subito un notevole incremento che è proseguito fino alla fine del mese. Ad aprile i valori sono

rimasti piuttosto stazionari e simili a quelli di marzo. A fine maggio, come già ricordato in precedenza, si è verificato un blackout che ha fatto rimanere le piante del secondo impianto aeroponico senza alcuna fonte idrica per una giornata intera a temperature molto elevate (le temperature massime assolute mensili, raggiunte tra il 22 e il 26 maggio, erano comprese tra 31÷35°C, dati ARPAV). Dopo questo evento sei piante sono morte, mentre le altre quattro hanno riportato inizialmente disseccamenti più o meno accentuati lungo tutto il fusto. In seguito, dopo circa tre mesi, le piante sono riuscite ad emettere nuovi getti. Ovviamente, la media dei mesi finali risulta essere più bassa a causa dello stress subito e dal limitato numero di piante sopravvissute all'arsura.

4.2.3 Piante in vaso collocate in serra

Le piante in vaso all'interno della serra hanno dato origine mediamente a 9.4 getti nuovi, con un massimo di 14 e un minimo di 7 getti per pianta, presentando una singola gemma per ogni palco ed un valore medio di accrescimento pari a 382.90 mm (fig. 4.1).

Dalla tabella 4.4 si evince che i primi accrescimenti si sono verificati a metà marzo. A metà aprile si sono riscontrati valori leggermente superiori rispetto a fine marzo e giugno ha riportato invece uno sviluppo nullo rispetto a quello ottenuto a maggio. Luglio ha presentato dei valori più alti rispetto a maggio e giugno e questi si sono mantenuti praticamente invariati fino ad ottobre.

4.2.4 Piante in vaso collocate fuori dalla serra

Le piante in vaso all'interno della serra hanno dato origine mediamente a 11.2 getti nuovi, con un massimo di 14 e un minimo di 8 getti per pianta, presentando una singola gemma per ogni palco ed un valore medio di accrescimento pari a 629.24 mm (fig. 4.1).

Per le piante collocate al di fuori della serra i primi accrescimenti del getto apicale sono stati rilevati solo ad aprile (tab. 4.4). Un rapido e continuo accrescimento si è poi manifestato durante tutti i mesi successivi, fino a luglio dove la crescita si è poi arrestata ed è rimasta pressoché invariata fino ad ottobre.

4.2.5 Semenzali

Le piantine ottenute da seme messe a dimora nell'impianto aeroponico, non hanno mostrato sintomi di stress nel passaggio in aeroponica, ma per motivi gestionali della serra non è stato possibile fare ulteriori misurazioni ed analisi. Di conseguenza, la valutazione non è completa e si può solo affermare che, come si vede nelle foto riportate nel paragrafo 3.5, i semenzali hanno risposto bene alla situazione aeroponica.

4.3 CONTENUTO DI PIGMENTI FOGLIARI

Le analisi fogliari che seguono sono state svolte per le piante in vaso (interne ed esterne alla serra) e per quelle del secondo impianto aeroponico. Le piante del primo impianto, essendo più giovani d'età rispetto alle altre e, di conseguenza, avendo dimensioni inferiori e minore materiale fogliare a disposizione, non sono state considerate per quanto concerne queste analisi, tenendo conto anche del fatto che esse non avrebbero potuto avere un confronto diretto con piante della loro stessa età cresciute in terreno.

4.3.1 Clorofille

Per quanto riguarda l'analisi delle clorofille negli aghi delle diverse piante, si è potuto osservare che il contenuto di clorofilla b è risultato sempre inferiore rispetto a quello della clorofilla a, presentando valori fra 1.33 µg/ml e 5.74 µg/ml. La clorofilla a, invece, ha assunto valori oscillanti tra 2.72 µg/ml e 10.34 µg/ml.

Il rapporto Chl a/Chl b ha presentato un valore medio di 2.17 con un massimo di 2.79 in una pianta del secondo impianto aeroponico.

Negli aghi dell'anno, il rapporto tra clorofilla a e b ha raggiunto i valori più alti nelle piante in aeroponica (2.44 ± 0.33), mentre le piante esterne hanno mostrato valori più bassi (1.91 ± 0.12) rispetto alle piante poste in vaso all'interno della serra (2.31 ± 0.22) (fig. 4.2).

Negli aghi più vecchi, invece, il rapporto ha assunto valori più alti nelle piante in vaso in serra ($2,25 \pm 0.10$). Le piante in aeroponica hanno mostrato valori inferiori rispetto agli aghi dell'anno (2.15 ± 0.15), mentre le piante in vaso poste esternamente alla serra hanno assunto valori leggermente più alti rispetto agli aghi dell'anno (1.93 ± 0.20) (fig. 4.2).

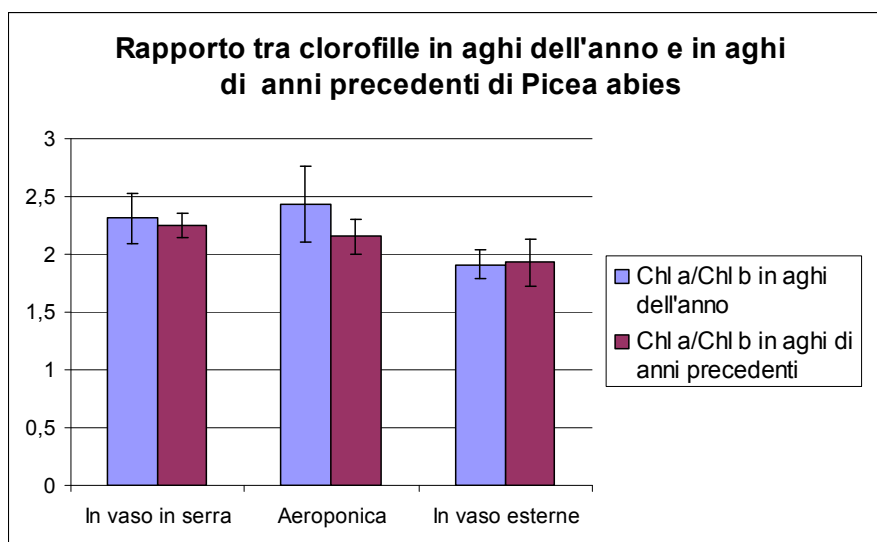


Fig. 4.2 - Rapporto tra clorofilla a e clorofilla b in aghi dell'anno e in aghi di anni precedenti in piante di abete rosso poste in serra, in impianto aeroponico e fuori serra. Le barre indicano la deviazione standard della media (n=4).

Il contenuto di clorofilla totale (fig. 4.3) appare più elevato nelle piante in serra, sia per quanto riguarda gli aghi nuovi che quelli più vecchi, inferiore nelle piante collocate all'esterno della serra e ancora più bassa nelle piante in aeroponica. Negli aghi degli anni precedenti delle piante in vaso esterne e in quelle del secondo impianto aeroponico, i valori di clorofilla totale sono risultati maggiori rispetto a quelli dell'anno.

Il valore medio è risultato essere 2.33 mg Chl/g P_f (dove P_f = peso fresco), con un minimo di 1.37 mg Chl/g P_f e con un massimo di 3.38 mg Chl/g P_f.

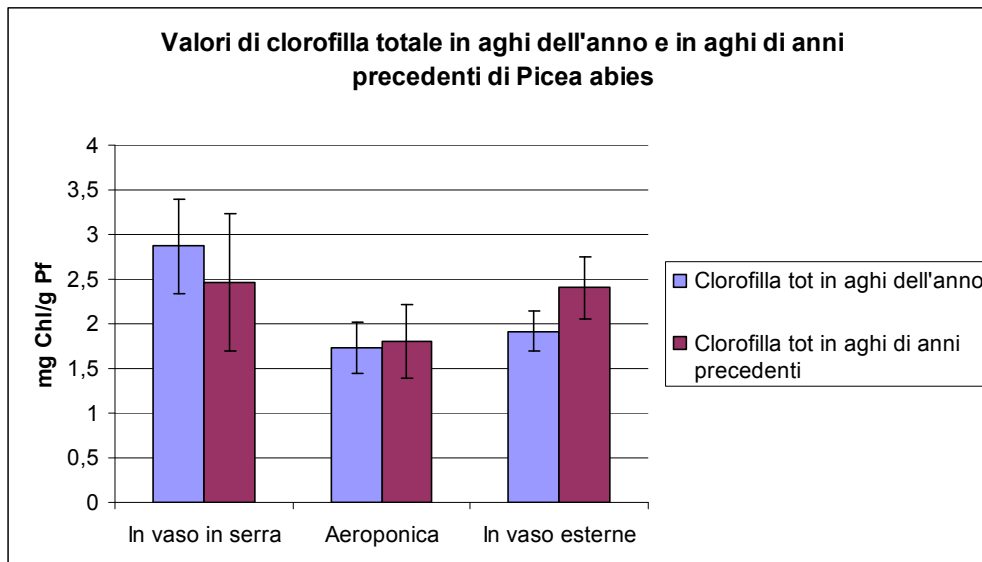


Fig. 4.3 - Clorofilla totale in aghi dell'anno e in aghi di anni precedenti in piante di abete rosso in serra, in impianto aeroponico e fuori serra. Le barre indicano la deviazione standard della media (n=4).

4.3.2 Contenuto di azoto, carbonio e zolfo

L'analisi del contenuto di azoto (N) negli aghi delle piante di abete rosso ha mostrato valori più elevati negli aghi dell'anno rispetto a quelli degli anni precedenti (fig. 4.4). Mediamente gli aghi dell'anno hanno presentato un contenuto di azoto pari al 2.30 %, mentre quelli degli anni precedenti 1.54 %.

I valori più alti (2.73 %) sono stati osservati in una pianta collocata all'interno della serra, mentre quelli più bassi si sono riscontrati presso le piante in vaso esterne alla serra.

Negli aghi dell'anno, i valori più alti del contenuto di azoto si sono ottenuti nelle piante poste in vaso all'interno della serra (2.57% ± 0.17). Le piante in aeroponica hanno mostrato valori più alti (2.19% ± 0.11) rispetto alle piante poste all'esterno della serra (2.13% ± 0.12).

Negli aghi più vecchi si è osservato il medesimo andamento: il contenuto di azoto ha assunto valori più alti nelle piante in vaso in serra ($1.71\% \pm 0.12$) e le piante in aeroponica hanno mostrato valori maggiori ($1.54\% \pm 0.06$) rispetto alle piante in vaso poste esternamente alla serra ($1.42\% \pm 0.08$).

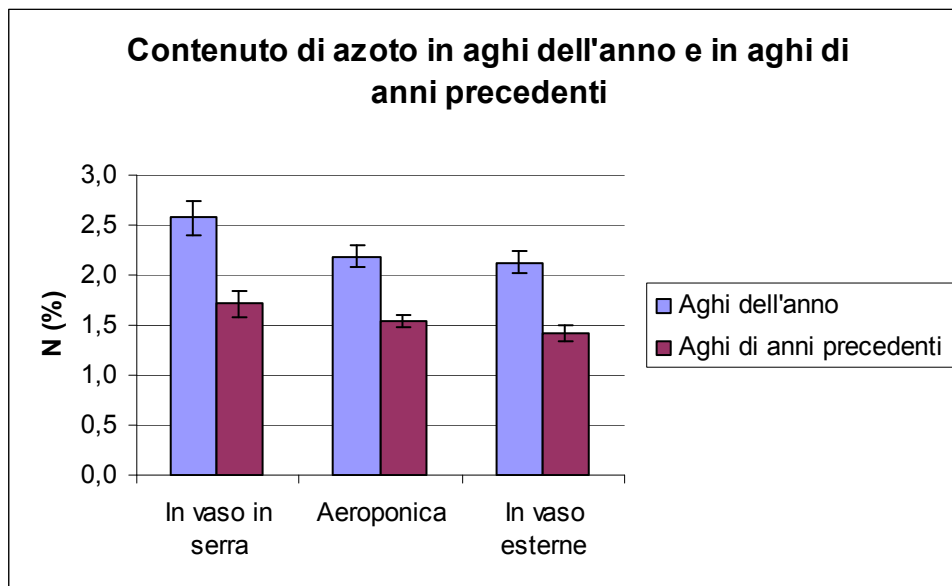


Fig. 4.4 - Contenuto di N (%) in aghi dell'anno e in aghi di anni precedenti in piante di abete rosso in serra, in impianto aeroponico e fuori serra. Le barre indicano la deviazione standard della media ($n=4$; $n=3$ in aghi di un anno in serra).

Il contenuto medio di carbonio (C) negli aghi è risultato essere pari a 48.37 % in quelli dell'anno e 49 % negli aghi più vecchi (fig. 4.5). Le concentrazioni più alte si sono riscontrate nelle piante fuori e dentro serra.

Il valore medio del rapporto C/N è risultato 26.42 %.

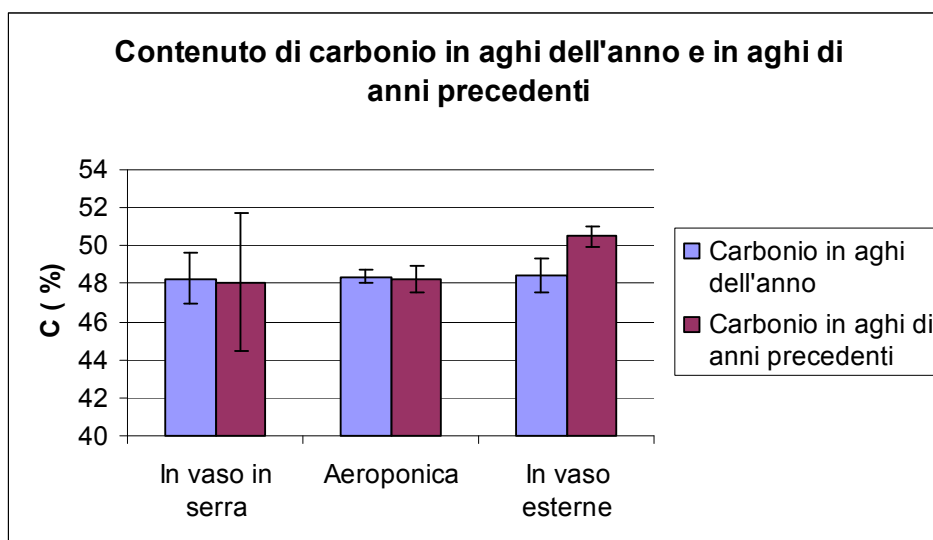


Fig. 4.5 - Valori di carbonio (%) in aghi dell'anno e in aghi di anni precedenti in piante di abete rosso in serra, in impianto aeroponico e fuori serra. Le barre indicano la deviazione standard della media (n=4; n=3 in aghi di un anno in serra).

Lo zolfo (S) ha mostrato un andamento simile a quello dell'azoto, presentando valori maggiori negli aghi dell'anno rispetto a quelli più vecchi (fig. 4.6). I contenuti più elevati sono stati riscontrati nelle piante del secondo impianto aeroponico, seguite da quelle in vaso all'interno della serra.

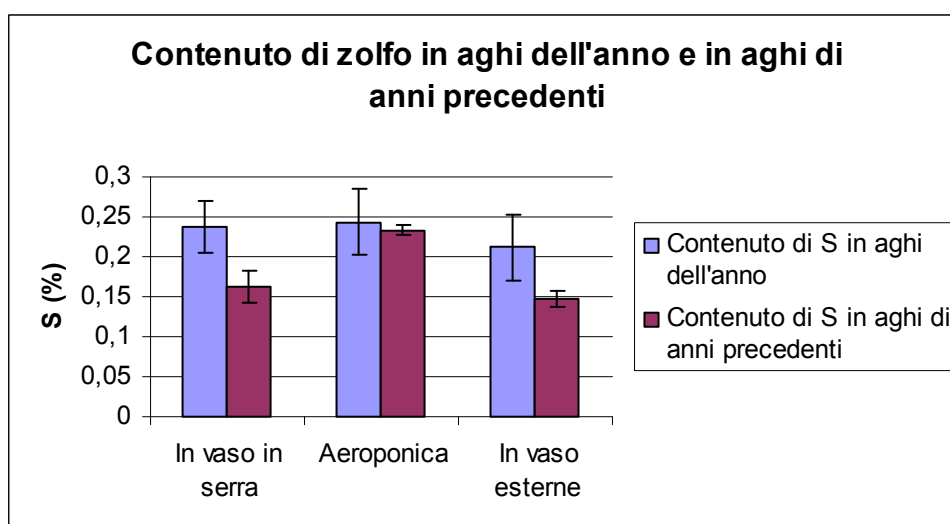


Fig. 4.6 - Valori di zolfo (%) in aghi dell'anno e in aghi di anni precedenti in piante di abete rosso poste in serra, fuori serra e in aeroponica. Le barre indicano la deviazione standard della media (n=4; n=3 in aghi di un anno in serra).

5. DISCUSSIONI

Nel presente lavoro la crescita delle piantine di *P. abies* allevate in aeroponia è stata confrontata con quella di piantine allevate in vaso.

Per le piante in vaso, i valori di pH del terreno risultano simili a quelli riscontrati da Carletti et al. (2008) in peccete del Nord Italia su suoli acidi esposti a Nord (pH 4.3), e da Galvan et al. (2008). Il pH KCl riscontrato da Galvan in diversi campioni di orizzonte A, prelevati da peccete situate in provincia di Trento, è variabile tra 3.4 su suoli acidi a 5.8 su suoli basici, mentre il pH H₂O varia da 4.2 su suoli acidi a 6.3 in quelli basici.

Anche l'azoto totale nel terreno presenta valori simili a quelli rilevati da Galvan (10.2 g kg⁻¹) nelle peccete in provincia di Trento presso substrati acidi.

Per quanto riguarda la capacità di scambio cationico (CSC), essa è correlata al contenuto di argilla e sostanza organica, per cui più risultano elevati questi parametri, maggiore sarà il valore della CSC (www.agriligurianet.it).

Nei suoli coltivati i valori di CSC oscillano dai 5 ai 50 meq/100 g (nei torbosi può arrivare anche a 200 meq/100 g), ma si considerano valori medi quelli compresi tra 10 e 20 meq/100 g. Nel nostro caso, il terreno è un miscuglio di torba acida e pane di terra proveniente dalle piantine di abete rosso. Di conseguenza esso presenta valori più alti rispetto ad un suolo coltivato.

Dai dati di analisi si evince che il terreno utilizzato è caratterizzato da parametri riscontrabili nelle peccete su suoli acidi e pertanto risulta idoneo come substrato di crescita per le piantine poste in vaso.

Le differenze nella composizione chimica tra le classi d'età degli aghi di conifere sono ben documentate: ad esempio per l'abete rosso (Soukupová et al., 2001) e per l'*Abies balsamea* (Luther e Carroll, 1999) si può avere un incremento nel contenuto di clorofilla. Questa dipendenza con l'età riflette l'attività fisiologica degli aghi di età diverse. I più attivi sono gli aghi più giovani. Per esempio, Linder e Flower-Ellis (1992) hanno riportato che la fissazione fogliare totale annua di carbonio per *Picea*

abies e per *Pinus sylvestris* è del 31% negli aghi dell'anno, 48% in quelli di un anno, 19% in quelli di due anni e solo del 2% negli aghi rimanenti, di tre anni e più vecchi. Secondo Linder (1995), la concentrazione di azoto e di altri macronutrienti, (P, K, S, Mg), decresce rapidamente con l'aumento d'età degli aghi. È stato dimostrato che anche in siti fertili la concentrazione degli elementi nutritivi negli aghi più vecchi cala durante la stagione vegetativa. Parte di questo calo può essere spiegato dal riassorbimento dei nutrienti e dal loro trasporto verso gli aghi ed i germogli in via di sviluppo (Fife and Nambiar 1982, 1984, Helmisaari 1992), ma il cambiamento è dovuto in gran parte alla variazione stagionale nelle riserve di carboidrati, principalmente amido. In questo caso di studio, i valori di azoto presenti negli aghi dell'anno e in quelli degli anni precedenti, hanno mostrato valori più alti rispetto a quelli rilevati da altri autori (Katzensteiner, 2003; Jönsson et al., 2004). Il maggiore contenuto di azoto si è riscontrato nelle piante in vaso poste all'interno della serra, le quali hanno presentato anche i più alti valori di clorofilla totale. Il contenuto di azoto, come riportato da Linder (1995), è risultato maggiore negli aghi dell'anno e tra le varie tesi non si sono rilevate differenze significative. Elevati valori di zolfo, invece, sono stati notati nelle piante in aeroponica rispetto alle altre due tipologie di crescita, soprattutto per quanta riguarda gli aghi più vecchi. Questo probabilmente può essere stato determinato da una maggiore disponibilità di zolfo, fornito alle piante mediante soluzione nutritiva. Per quanto concerne il contenuto di carbonio, nei nostri 3 casi di studio esso non è variato sensibilmente. Niinemets (1997) afferma che con l'incremento d'età degli aghi il contenuto di carbonio aumenta, ma nel nostro caso i valori di carbonio presenti negli aghi più vecchi sono simili a quelli presenti negli aghi dell'anno, eccezion fatta per le piante poste al di fuori della serra. Questo maggiore contenuto di carbonio potrebbe essere dovuto ad una maggiore lignificazione dell'ipodermide degli aghi che, come afferma Frey (1981), continua almeno fino al terzo anno di sviluppo. La velocità di lignificazione, infatti, può dipendere dalla temperatura. Berman e DeJong (1997) hanno identificato la qualitativa importanza della temperatura sulla velocità di accrescimento. Quando una

cellula perde la capacità di dividersi passa ad una fase di distensione e la durata di questi stadi cellulari è influenzata dalla temperatura; a basse temperature il passaggio da una fase all'altra è più lento con la conseguente diminuzione della divisione cellulare, collegata ad una più bassa velocità di distensione. Questo comporterebbe un maggiore grado di lignificazione rispetto alle piante sottoposte a temperature più alte e ad accrescimenti più rapidi. Inoltre, potrebbe spiegare il fatto che solo le piante poste esternamente alla serra hanno mostrato quantitativi di carbonio maggiori.

Per quanto riguarda il contenuto di clorofilla totale, esso è funzione dello stato generale della pianta. Piante stressate diminuiscono il contenuto di clorofilla e variano il rapporto a/b. Boardman, in una review del 1977, riporta che l'elevato contenuto in clorofilla è tipico delle foglie adattate all'ombreggiamento come risposta ad una più efficiente utilizzazione della luce. Inoltre, un elevato valore del rapporto Chla/Chlb è frequentemente associato a condizioni di maggiore illuminazione (Björkman, 1981), in accordo con quanto verificato in serra. Le piante esterne, infatti, essendo più riparate e più ombreggiate, hanno riportato valori inferiori. In generale, nel nostro studio, il rapporto tra clorofilla a e b non ha subito grandi variazioni nelle tre diverse tesi, denotando una situazione omogenea e priva di stress.

Per ogni sistema di crescita, sono state condotte diverse misurazioni riguardanti il numero e la lunghezza dei getti. Facendo un confronto tra i due allevamenti aeroponici e tenendo presente che le piante poste nel primo impianto sono di età inferiore (2 anni) e più numerose di quelle collocate nel secondo, si è potuto osservare che:

- il secondo allevamento ha generato un maggior numero di getti a parità di condizioni trofiche ed ambientali e ha dato origine ad una sola gemma per palco;
- il secondo allevamento ha avuto un accrescimento dei getti laterali quasi doppio rispetto a quello del primo impianto;
- a fine marzo la sommatoria della media della lunghezza del getto apicale delle piante del secondo allevamento era simile a quella del primo allevamento;

- il valore massimo di questa sommatoria è risultato essere 75.53 mm nel primo allevamento e 43.31 mm nel secondo.
- le piantine del primo allevamento sono cresciute di più longitudinalmente che lateralmente rispetto a quelle del secondo allevamento che, invece, hanno mostrato un andamento opposto.

Nelle due tipologie di crescita in vaso (in serra e fuori serra) si è potuto osservare che le piante collocate all'interno della serra hanno sviluppato il getto apicale un mese prima rispetto a quelle poste all'esterno e che, a giugno, l'accrescimento dei getti nei due casi di studio è divenuto pressoché paritario. A metà luglio le piante poste all'esterno hanno probabilmente beneficiato della temperatura più bassa e del maggiore ombreggiamento, fattori che hanno consentito così all'apice un notevole sviluppo, fino al raggiungimento dei 51 mm finali ad ottobre, 16 mm in più rispetto ai 35 mm del getto apicale delle piante in serra.

Quindi nel complesso si può osservare che nelle piante in aeroponica c'è stato un anticipo di sviluppo dei getti, i quali però, per i motivi detti, hanno avuto un blocco nella crescita a giugno, mentre nelle piante fuori serra questa è continuata fino ad ottobre. Anche le piante in vaso, collocate in serra, hanno risentito delle elevate temperature estive e non sono riuscite perciò a competere con la crescita delle piante in vaso poste esternamente.

6. CONCLUSIONI

Le possibilità di riduzione dei tempi di permanenza in vivaio di giovani piante di abete rosso mediante l'utilizzo di sistemi di allevamento controllati come l'aeroponica e gli eventuali vantaggi conseguibili, hanno fatto sì che uno studio sperimentale come questo potesse essere effettuato.

Con questo lavoro si è potuto constatare e quindi concludere che le piante sottoposte a trattamento aeroponico riescono ad avere una risposta positiva e più celere nell'accrescimento e nello sviluppo, non mostrando sintomi di stress, così come indicato dai valori dei contenuti fogliari e dall'analisi della clorofilla. La crescita è risultata inoltre comparabile con quella delle piante in vaso. Di conseguenza, l'impiego di piantine di abete rosso in aeroponica può risultare una soluzione possibile nel ridurre il tempo di stazionamento delle stesse in vivaio.

7. BIBLIOGRAFIA

ABER J.D., McDOWELL W., NADELHOFFER K.J., MAGILL A., BERNTSON G., KAMEKEA M., McNULTY S.G., CURRIE W., RUSTAD L., FERNANDEZ I., 1998 – *Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems*. *BioScience* 48, 921-934.

AYALA O., SANTAMARIA P., 2005 – *Idroponica avveniristica*. *Colture protette*, n.5.

ANFODILLO T., 1992 – *Osservazione sullo stato idrico invernale di Pinus cembra L. e Picea abies (L.) Karst. in alta montagna*. – *Monti e boschi*, n. 2, 45-52.

BARONCELLI P., LANDI S., 2004 - *Nutrizione minerale delle piante e fertilizzanti*. *Quaderno Arsia* 5/2004

BERMAN M. E., DEJONG T. M., 1997 – *Diurnal patterns of stem extension growth in peach (Prunus persica): Temperature and fluctuations in water status determine growth rate*. *Physiologia Plantarum* 100:361-370.

BERNETTI G., 1995 – *Selvicoltura speciale*. Ed. UTET

BERNETTI G., 2005 – *Atlante di selvicoltura*. Edagricole

BJÖRKMAN, 1981 – *Responses to different quantum flux densities*. In: *Encyclopedia of Plant Physiology* (Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H eds). New Series, Springer Verlag, Berlin, vol. 12: 57-107.

BOARDMAN K., 1977 – *Comparative photosynthesis of sun and shade plants*. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28:355-377.

BRÆKKE, F.H., HÅLAND, B., 1995 - *Above-ground biomass and mineral element distribution in Scots pine stand of a virgin lowshrub pine bog*. *Communications of Skogforsk* 47.7, p. 17.

CARLETTI P., VENDRAMIN E., PIZZEGHELLO D., CONCHERI G., ZANELLA A., NARDI S., SQUARTINI A., 2008 – *Soil humic compounds and microbial communities in six spruce forests as function of parent material, slope aspect and stand age*. Springer Science and Business Media B.V.

COOPER A., 1979 – *The ABC of the NFT*. Grower Books, London, pp. 181.

DEL FAVERO R., 2004 – *I boschi delle regioni alpine italiane*. Cleup

DEL FAVERO R., ANDRICH O., DeMAS G., LASEN C., POLDINI L., 1990 – *La vegetazione forestale del veneto*, Prodrumi

DE PHILIPPIS A., 1957 – *Lezioni di selvicoltura speciale*. Università di Firenze, Facoltà agraria e forestale

- DIMAURO B., INCROCCI L., 2005 – Risultati dell'attività di promozione della coltura fuori suolo svolta nell'ambito del Progetto Interregionale Orticolo 2001-2004. Atti del convegno "Strategie per il Miglioramento dell'Orticoltura Protetta in Sicilia", Scoglitti (RG), 25-26/11/2005: pp. 65-76.
- DISE N., MATZNER E., GUNDERSEN P., 1998 – *Synthesis of nitrogen pools and fluxes from European forest ecosystems*. Water, Air, and Soil Pollution 105, 155-164.
- FANGMEIER A., HADWIGER-FANGMEIER A., VAN EERDEN L. & JAGER H-J., 1994 – *Effects of atmospheric ammonia on vegetation*. A review. Environ. Pollut. 86, 42-83.
- FAO, 1990 – *Soilless culture for horticultural crop production*. Plant production and protection paper 101.
- FIFE D. N., NAMBIAR E. K. S., 1982 – *Accumulation and re translocation of nutrients in developing needles in relation to seasonal growth of young radiata pine trees*. - Ann. Bot. 50: 817-829.
- FIFE D. N., NAMBIAR E. K. S., 1984 – *Movement of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots*. - Ann. Bot. 54: 303-314.
- FREY J.M., 1981 – *Ekomorfoloogicheskkii analiz hvoi yeli i pologa yelnika (Ecomorphological analysis of the spruce needle and spruce stand)*. Cand. Biol. Dissertation, Tartuskii Gosudarstvennyi Universitet, Tartu, Estonia, 155 p. In Russian
- GALVAN P., PONGE J.F., CHERSICH S., ZANELLA A., 2008 – *Humus components and soil biogenic structures in Norway Spruce ecosystems*. Soil Science Society of America J 72:548-557.
- GELLINI R., GROSSONI P., 1996 – I – *Gimnosperme*. Ed. CEDAM
- GERICKE W.F., 1929 – *Aquiculture: a means of crop production*. Amer. J. Bot. 16: 862.
- GESSLER A., SCHNEIDER S., Von SENGBUSCH D., WEBER P., HANEMANN U., HUBER C., ROTHE A., KREUTZER K. & RENNENBERG H., 1998 – *Field and laboratory experiments on net uptake of nitrate and ammonium by the roots of spruce (Picea abies) and beech (Fagus sylvatica) trees*. New Phytol. 138, 275-285.
- GLASS A.D.M., SIDDIQI M.Y., 1995 – *Nitrogen absorption by plant roots*. In: Nitrogen Nutrition in Higher plants. Srivastava HS, Sing RP (eds), New Delhi Associated Publishing Co., pp. 21-56.
- HELMISAARI H.-S., 1992 – *Nutrient retranslocation within the foliage of Pinus sylvestris*. - Tree Physiol. 10: 45-58.
- HEYNES R.J., GOH K.M., 1978 – *Ammonium and nitrate nutrition of plants*. Biol. Rev. 53, 465-510.
- HÜTTL R. F., 1986 – *Forest fertilisation: Results from Germany, France and the Nordic countries*. Fertil. Soc. Proc. 250.
- INCROCCI L., MALORGIO F., DELLA BARTOLA A., PARDOSSI A., in press. *The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water*. Sci. Hort..

- INCROCCI L., TOGNONI F., 2001 – *Saving water in protected crops in Italy*. Actas de Horticultura n. 32 – V Jornadas de Sustratos de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas: 183-188.
- JACKSON M.B., 1980 – *Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide*. Acta Horticulturae, 98, 61-78.
- JENSEN M. H., 1997 – *Hydroponics*. Hortscience, vol 32 (6): 1018-1021.
- JÖNSSON A.M., INGERSLEV M., RAULUND-RASMUSSEN K., 2004 – *Frost sensitivity and nutrient status in a fertilized Norway spruce stand in Denmark*. Forest Ecology and Management 201:199–209.
- JOUËT, J.P., 2001 – *Plastics in the world*. Plasticsulture, 2 (120): 108-126.
- KATZENSTEINER K., 2003 – *Effects of harvesting on nutrient leaching in a Norway spruce (Picea abies Karst.) ecosystem on a Lithic Leptosol in the Northern Limestone Alps*. Plant and Soil 250: 59–73.
- KJELDAHL J., 1883 – *A new method for the determination of nitrogen in organic matter*. Z Anal. Chem. 22:366-382.
- LARCHER W., 1985 – *Winter stress in high mountains*. In: *Establishment and tending of Subalpine Forest: Research and Management*. – 3rd IUFRO Workshop P1.07-00, Anst. forstl. Versuchswes., Berlin, 11-19.
- LINDER S., 1995 – *Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce*. Ecol. Bull. (Copenhagen) 44: 178-190.
- LINDER S., FLOWER-ELLIS J., 1992 – *Environmental and physiological constraints to forest yield*. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR, editors. Responses of forest ecosystems to environmental changes. Kluwer Academic Publishers.
- LONGO C., 2003 – *Biologia vegetale*. Seconda edizione. Ed. UTET
- LORENZINI G., NALI C., 2005 – *Le piante e l'inquinamento dell'aria*. Springer Milan, terza edizione, 109-124.
- LUTHER J.E., CARROLL A.L., 1999 – *Development of an index of balsam fir vigor by foliar spectral reflectance*. Remote Sens Environ; 69:241–52.
- MALORGIO F., 2004 – *Le colture fuori suolo per le produzioni floricole di serra*. Quaderno Arsia 5/2004.
- MALORGIO F., INCROCCI L., PARDOSSI A., DIMAURO B., 2004 – *La tecnica di coltivazione fuori suolo*. Progetto interregionale “Orticoltura” 2001-2004. Sottoprogetto “Colture protette”.
- MARSCHER H., HAUSSLING M., GEORGE E., 1991 – *Ammonium and nitrate uptake rates and rhizosphere pH in non-mycorrhizal roots of Norway spruce (Picea abies L. Karst.)*. Trees. 5, 14-21.

- MARTIN-LAURENT F., LEE S.K., THAM F.Y., JEI H., DIEM H.G., 1999 – *Aeroponic production of Acacia mangium saplings inoculated with AM fungi for reforestation in the tropics*. For. Ecol. Manage., 122, 199-207.
- MASSANTINI F., 1962 – *Sull'effetto di alcune sostanze ad azione fitodinamica sull'accrescimento e sviluppo di piante in coltura idroponica*. Atti IV Simposio internazionale Agrochimica, Pisa – Firenze.
- MASSANTINI F., 1976 – *Floating hydroponic; a new method of soilless culture*. IWOSC Proceedings, 91-98.
- MISSEN L., BALDOCCHI D.D., BLACK T.A., BLANKEN P.D., BRUNET Y., CURIEL YUSTE J., DORSEY J.R., FALK M., GRANIER A., IRVINE M.R., JAROSZ N., LAMAUD E., LAUNIAINEN S., LAW B.E., LONGDOZ B., LOUSTAU D., MCKAY M., PAW K.T., VESALA U.T., VICKER D., WILSON K.B., GOLDSTEIN A.H., 2007- *Partitioning forest carbon fluxes with overstory and understory eddy-covariance measurements: A synthesis based on FLUXNET data*. Agricultural and Forest Meteorology 144: 14-31.
- NIINEMETS U., 1997 – *Acclimation to low irradiance in Picea abies: influences of past and present light climate on foliage structure and function*. Tree Physiology 17, 723-732.
- OLLINGER S.V., SMITH M.L., MARTIN M.E., HALLETT R.A., GOODALE C.L., ABER J.D., 2002 – *Regional variation in foliar chemistry and N cycling among forests of diverse history and composition*. Ecology 83, 339-355.
- PARDOSSI A., 1993 – *Le coltivazioni "senza suolo" per l'orticoltura protetta italiana*. L'Informatore Agrario, 49 (44), 39-41.
- PARDOSSI A., MALORGIO F., INCROCCI L., TOGNONI F., 2005 – *Hydroponic technologies for greenhouse crops in Crops: Growth, Quality and Biotechnology: Current status and future prospects*. R. Dris (Ed.), Worl Food Ltd, WFL Publisher Science & Tecnology, Helsinki, Finland
- PARDOSSI A., SCIORTINO A., 2004 – *Le colture Idroponiche*. In: La produzione in serra dopo l'era del bromuro di metile. Workshop internazionale, Comiso (RG), 1-3 Aprile 2004.
- PARENTE A., ELIA A., SANTAMARIA P., SIGNORE A., 2000 – *Studi su substrati economici ed ecocompatibili*. Colture protette, XXIX (5), 27-31.
- PEARSON J., STEWARD G.R., 1993 – *The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plant*. New Phytol., 125, 283-305.
- PERRIN H., 1954 – *Selvicoltura. Tomo II. Il trattamento delle foreste. Teoria e Pratica delle Tecniche Selvicolturali*. Opera a cura de l'Ecole Nationale des Eaux et Forest di Nancy
- PIGNATTI S., 1998 – *Sinecologia e biodiversità*. Ed. UTET
- PIMPINI F., 2001 – *Principi tecnico-agronomici della fertirrigazione e del fuori suolo*. Veneto Agricoltura, Legnaro (PD).
- POLAZZI G., CRIVELLARO A., SVALUTO S., 2004 – *Elementi del progetto legni*. Motta Architettura

- PORTÉ A, DULHOSTE R., LOPEZ S., BOSCH A., MEREDIEU C., TEISSIER DU CROS R., TRICHET P., BERNIER F., DENIS L., 2005 – *Détermination de la biomasse aérienne du sous-bois de peuplements adultes de Pin maritime: contribution à la quantification des stocks de carbone forestier à l'aide d'indicateurs de couvert*. Carbon, Forêt, Bois 97, VIII-ème Colloque ARBORA.
- RAUTIO P., HUTTUNEN S., KUKKOLA E., PEURA R., LAMPPU J., 1998 – *Deposited particles, element concentrations and needle injuries on Scots pines along an industrial pollution transect in northern Europe*. Environmental Pollution 103, 81-89.
- RAVEN P. H., EVERT R.F., EICHHORN S.E, 1990 – *Biologia delle piante*. Zanichelli
- RENNEMBERG H., SCHNEIDER S., WEBER P., 1996 – *Analysis of uptake and allocation of nitrogen and sulphur compounds by trees in the field*. J. Exp. Bot. 47, 1491-1498.
- RENNERFELT E., TAMM C.O., 1962 – *The contents of major plant nutrients in spruce and pine attacked by Fomes annosus (Fr.) Cke*. Phytopathologische Zeitschrift.
- RESH, H. M., 1998 – *Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods*. 5° ed. Woodbridge Press Publishing Company, California: 527 pp.
- ROELOFS J.G.M., 1986 – *The effect of airborne sulphur and nitrogen deposition on aquatic and terrestrial heathland vegetation*. Experientia, 42, 372-377.
- ROTHPFEFFER C., KARLTUN E., 2007 – *Inorganic elements in tree compartments of Picea abies—Concentrations versus stem diameter in wood and bark and concentrations in needles and branches*. Biomass and Bioenergy 31 (2007) 717–725
- RUBNER D., 1960 – *Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus*. - 620 pp.
- SAID® S.p.A., *Coltivazioni senza suolo e senza substrato a ciclo chiuso con ricircolo della soluzione nutritiva*.
- SANAZZARO F.M., 2008 – *Valutazione di substrati alternativi alla torba: caratterizzazione chimica, fisica ed agronomica di lolla di riso*. Università degli studi di Padova.
- SBARAGLIA M., LUCCI E., 1994 – *Guida all'interpretazione dell'analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon, Pomezia.
- SCHEROMM P., PLASSARD C., 1998 – *Nitrogen nutrition of non-mycorrhized maritime pine Pinus pinaster grown on nitrate or ammonium*. Plant Physiol. Biochem. 26, 261-270.
- SOUKUPOVÁ J., ROCK B.N., ALBRECHTOVÁ J., 2001 – *Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region*. New Phytol;150:133–45.
- TESI R., 2001 – *Colture protette, ortoflorovivaismo*. Edagricole
- TESI R., 2002 – *Colture fuori suolo in orticoltura e floricoltura*. Edagricole
- TOGNONI F., INCROCCI L., 2003 – *Le colture fuori suolo: situazione in Italia e prospettiva per il futuro*. L'informatore fitopatologico, 53 (2): 7-12.

TOGNONI F., MALORGIO F., INCROCCI L., CARMASSI G., MASSA D., PARDOSSI A., 2005 – *Tecniche idroponiche per colture in serra*. Convegno nazionale “Strategie per il Miglioramento dell’Orticoltura Protetta in Sicilia”, Scoglitti (RG), 25-26/11/2005.

TRAMBAIOLI I., 1999 – *Assorbimento di nitrato e ammonio in plantule di Pinus sylvestris e Larix decidua*.

VAN OS E.A., STANGHELLINI C., 2001 – *Diffusion and environmental aspects of soilless growing systems*. Italus Hortus, 8(6): 9-15.

VEZZOSI C., 2003 – *Vivaistica ornamentale*. Edagricole.

VINCENZONI A., 1988 – *Coltivazioni senza terra idroponiche e aeroponiche*. Edizioni Agricole

WELBURN A.R., LICHTENTHALER H., 1984 – *Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents*. Advances in Photosynthesis Research, Vol. II ISBN 90-247-2932-2.

WERKELIN J., 2002 – *Distribution of ash-forming elements in four trees of different species*. MSc Thesis. Turku: Process Chemistry Group, Faculty of Chemical Engineering, Åbo Akademi University; p. 1–64.

ZANZI-SULLI A., 1981 - *Studi sulla produzione di seme nelle peccete subalpine di Paneveggio*. Ann. Acc. Sc. For., 63-86

ZOBEL R.W., DEL TREDICI P., TORREY J.G., 1976 – *Method for growing plants aeroponically*. Plant Physiol. 57, 344-346.

Siti web consultati:

- www.aeroponic.it
- www.agriligurianet.it
- www.arpa.veneto.it
- www.cm-casentino.toscana.it
- www.infoagri.com
- www.plant-pictures.de
- www.venetoagricoltura.org

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il Prof. Mario Malagoli per la disponibilità e l'esperienza messi a disposizione in tutti questi mesi di lavoro.

Ringrazio sentitamente tutto il gruppo SAID ed in particolare Luca Bonato e Sergio Pernechele per aver reso possibile la realizzazione di questa tesi, Fabio Gaudino, Carlo Zanella e Nicolò Greselin per avermi accolta tra loro con grande naturalezza e per avermi supportato in ogni occasione.

Grazie anche a Pier Giorgio e Diego, tecnici di laboratorio del dipartimento di Biotecnologie agrarie: siete stati davvero impagabili.

Un ringraziamento particolare va a Matteo per essermi stato sempre vicino, per avermi dato consigli pratici nella realizzazione di questa tesi e per avermi sopportata durante i miei lunghi monologhi a carattere scientifico.

Intendo poi ringraziare Daniela per la sua preziosa compagnia e per le lunghe e ristoratrici chiacchierate universitarie e Barbara per la sua proverbiale calma e simpatia.

Infine, un grazie di cuore anche ai miei genitori e a mia zia Beatrice che mi hanno continuamente dato fiducia e spronato ad andare avanti per la mia strada. Un saluto ed un ringraziamento speciale anche a mia zia Caterina che mi ha sempre augurato il meglio.